



Denise Maria Castelo Rosa da Conceição Forte

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Identificação dos serviços dos
ecossistemas e quantificação do
armazenamento e sequestro do carbono na
Arrábida utilizando SIG.**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa Calvão
Rodrigues, Professora Auxiliar da FCT/UNL

Co-orientador: Doutora Evelina Brigitte Pires da Moura
Rodrigues, Bolseira de Investigação da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo

Arguente: Doutora Maria de Jesus Fernandes

Vogal: Professora Doutora Maria Teresa Calvão Rodrigues



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2014

Denise Maria Castelo Rosa da Conceição Forte

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Identificação dos serviços dos
ecossistemas e quantificação do
armazenamento e sequestro do carbono na
Arrábida utilizando SIG.**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais

Orientador: Professora Doutora Maria Teresa Calvão
Rodrigues, Professora Auxiliar da FCT/UNL

Co-orientador: Doutora Evelina Brigitte Pires da Moura
Rodrigues, Bolseira de Investigação da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo

Arguente: Doutora Maria de Jesus Fernandes

Vogal: Professora Doutora Maria Teresa Calvão Rodrigues

Março 2014

Identificação dos serviços dos ecossistemas e quantificação do armazenamento e sequestro do carbono na Arrábida utilizando SIG.

© Copyright, 2014, Denise Maria Castelo Rosa da Conceição Forte, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Universidade Nova de Lisboa. Todos os direitos reservados.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

Para ti Vó.

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido completado sem o apoio de várias pessoas que quero desde já agradecer:

À Professora Doutora Maria Teresa Calvão e à Doutora Evelina Moura por toda a disponibilidade e empenho que demonstraram ao longo de todo este trabalho.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia e aos seus professores que marcaram o meu percurso académico.

Ao Parque Natural da Arrábida, pela oportunidade de realizar este trabalho e informação facultada, na pessoa da Doutora Maria Jesus Silva Fernandes, Diretora do Departamento de Conservação da Natureza e das Florestas de Lisboa e Vale do Tejo. Agradecemos ainda à Doutora Ana Sofia Palma, técnica superior do PNA e ao Arquiteto Eduardo Carqueijeiro pela disponibilidade e apoio.

Ao Engenheiro Pedro Moreno pelas informações sobre georreferenciação.

Aos meus engenheiros favoritos, colegas e amigos do coração que me deram força, incentivo e alguns momentos de descontração.

À Teresa pela grande ajuda e preocupação.

Ao Miguel que me acompanhou todos os dias do meu trabalho, dando-me todo o apoio, carinho e paciência que eu precisei.

E finalmente aos meus Pais e Mana que fizeram os possíveis e impossíveis para eu chegar até aqui.

A todos, muito obrigada!

Resumo

Os serviços dos ecossistemas são os benefícios que os seres humanos retiram dos ecossistemas, sendo que o seu estudo permite analisar e quantificar a importância que estes têm para o bem-estar humano, auxiliando também à gestão sustentável desses serviços.

Zonas protegidas como o Parque Natural da Arrábida contêm ecossistemas naturais ou seminaturais que estão associados a diferentes serviços de ecossistemas, estas zonas constata-se ser de extrema relevância no que diz respeito à produção e manutenção dos serviços.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo dos serviços dos ecossistemas do PNA, pretendendo-se identificar, quantificar, e avaliar economicamente o serviço do ecossistema armazenamento e sequestro do carbono utilizando o programa ArcGIS para criar o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e também usando as ferramentas de modelação do InVEST.

Realizou-se uma revisão de literatura esclarecendo o conceito de serviços dos ecossistemas, clarificando o armazenamento e sequestro de carbono como serviço e a ferramenta de modelação.

A modelação do carbono armazenado foi realizada a partir de mapas de ocupação do solo e uma pesquisa bibliográfica dos quatro *reservatórios* de carbono: Biomassa acima e abaixo do solo, carbono orgânico no solo e matéria orgânica na manta morta.

Os mapas de ocupação do solo foram construídos a partir do processamento e interpretação de fotografias aéreas de 3 anos 1967, 1978 e 2010.

As conclusões que se retiram, do presente trabalho, é que das classes de ocupação do solo definidas, a que mais contribui para o armazenamento e sequestro do carbono é a classe dos matos, representando a maior percentagem de área ocupada, seguida das classes Florestas e Matas.

Houve um aumento do armazenamento do carbono ao longo do tempo. Verifica-se que a área de estudo poderá contribuir numa ordem de grandeza dos milhões de euros, considerando o CELE, o que se constata ser uma informação relevante, uma vez que esse valor poderá ser investido em medidas de melhoria da conservação da serra com o objetivo de criar ainda mais benefícios ao nível ecológico, económico e social da zona.

Termos-Chave: Serviços dos Ecossistemas, PNA, Arrábida, fotografia aérea, SIG, InVEST, Carbono

Abstract

Ecosystem services are the benefits that humans derive from ecosystems, and their study allows us to analyze and quantify the importance of these for human well-being, it also helps the sustainable management of these services.

Protected areas like Parque Natural da Arrábida contain natural or semi-natural ecosystems that are associated with different ecosystem services, these areas show evidence of being extremely important regarding to the production and maintenance of services.

The present theses aims to study of ecosystem services in the PNA, the objective is to identify, quantify and economically evaluate the ecosystem service storage and carbon sequestration using ArcGIS software to create the Geographic Information System (GIS) and also using the modeling tools of InVEST.

Literature review was conducted to explain the concept of ecosystem services, clarifying the storage and carbon sequestration service and the modeling tool.

The modeling of the carbon stored was made from land cover maps and a literature search of the four carbon reservatórios: biomass above and below ground, soil organic carbon and organic matter in ground litter.

The land cover maps were constructed from the processing and interpretation of aerial photographs of three years 1967, 1978 and 2010.

The conclusions derived from the present study is that the classes of land cover defined, which contributes most to the carbon storage and sequestration is the class of shrubs, representing the highest percentage of occupied area, followed by Forest and Matas classes.

There was an increase in carbon storage over time. It appears that the study area could contribute with millions of Euros, in order of magnitude, considering the EU ETS, which suggests to be a relevant information, since this value may be invested in measures to improve the conservation of Arrábida in order to create even more benefits at ecological, economic and social level.

Keywords: Ecosystem Services, PNA, Arrábida, aerial photograph, GIS, InVEST, Carbon

Índice de Matérias

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento do trabalho e sua relevância.....	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.3.	Estrutura da tese	2
2.	Revisão da literatura sobre os serviços dos ecossistemas.....	3
2.1.	Os serviços dos ecossistemas	3
2.2.	Armazenamento e sequestro do carbono como serviço dos ecossistemas	6
2.3.	InVEST	9
2.3.1.	Armazenamento e sequestro de Carbono no InVEST	10
3.	Metodologia	13
3.1	Abordagem geral	13
3.2	Caracterização do PNA e descrição da sua importância	13
3.3	Área de estudo	16
3.4	Processamento das fotografias aéreas	17
3.5	InVEST	18
4.	Resultados.....	27
4.1	Análise temporal com base nas fotografias aéreas	27
4.2	Armazenamento do carbono modelado no InVEST	32
5.	Discussão de resultados	39
6.	Conclusões e propostas futuras	45
	Referências Bibliográficas	49
	Anexos.....	55
I.	Erros Relativos às fotografias Aéreas	55
II.	Carbono modelado por classe.....	56
III.	Histórico de preços de CO ₂ para o ano 2010.....	57

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Reservatórios de carbono, adaptado de Tallis <i>et al.</i> (2013) e Pereira <i>et al.</i> (2010).....	8
Figura 3.1 - Esquema metodológico	13
Figura 3.2 - Localização da área de estudo e enquadramento no PNA (Fonte: ICNF e Bing Maps)...	16
Figura 3.3 - Pormenor da pedreira da Secil (Fonte: Bing Maps)	24
Figura 3.4 - Total dos reservatórios de carbono por classes em $t\ ha^{-1}$	25
Figura 4.1 – Ocupação do solo no ano de 1967	27
Figura 4.2 – Ocupação do solo no ano de 1978	28
Figura 4.3 – Ocupação do solo no ano de 2010	29
Figura 4.4 - Evolução da percentagem de área ocupada por tipo de ocupação de solo exceto matos.	30
Figura 4.5 - Evolução da percentagem de área ocupada por tipo de ocupação de solo de interesse para o estudo do armazenamento e sequestro do carbono.	31
Figura 4.6 - Evolução da percentagem de área ocupada por Matos.	31
Figura 4.7 - Carbono armazenado no ano 1967	33
Figura 4.8 - Carbono armazenado no ano 1978	34
Figura 4.9 - Carbono armazenado no ano 2010	35
Figura 4.10 - Percentagem de carbono armazenado por tipo de ocupação nos anos de estudo (1967, 1978 e 2010)	37
Figura 4.11 - Carbono armazenado (kt) nos anos de 1967, 1978, 2010	37
Figura 4.12 - Carbono sequestrado (t) entre os anos de 1967-1978 e 1978-2010	38
Figura 5.1 - Incêndios na área de estudo (Fonte: ICNF, 2014)	42

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Erros (m) relativos às fotografias aéreas dos anos em estudo.....	17
Tabela 3.2 - Classes de ocupação do solo utilizadas e suas definições	18
Tabela 3.3 - Revisão de literatura para valores dos <i>reservatórios</i> de carbono	19
Tabela 3.4 - Valores finais de carbono em t ha ⁻¹ usados na modelação	22
Tabela 4.1 - Resultado das interseções do ano 1967 com 2010.....	32
Tabela 4.2 - Carbono armazenado por classe de ocupação	36
Tabela AI.1 - Erros relativos às fotografias aéreas do ano 1967	55
Tabela AI.2 - Erros relativos às fotografias aéreas do ano 1978	55
Tabela AII.3 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 1967	56
Tabela AII.4 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 1978	56
Tabela AII.5 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 2010	56
Tabela AIII.6 - Histórico de preços de CO ₂ do ano 2010, expressos em € t ⁻¹ segundo SENDECO ₂ (2014))	57

Lista de Abreviaturas

ICN – Instituto da Conservação da Natureza

ICNF – Instituto da Conservação da Natureza e Florestas

CBD – Convention on Biological Diversity

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão

InVEST – The Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

MEA – Millennium Ecosystem Assessment

PNA – Parque Natural da Arrábida

POPNA – Plano de Ordenamento do Parque Natural da Arrábida

ptMA – Millennium Ecosystem Assessment – Avaliação Portuguesa

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UN – United Nations

1. Introdução

1.1. Enquadramento do trabalho e sua relevância

O Decreto-Lei n.º 613/76 constitui e define Parque Natural como “*áreas de território, devidamente ordenadas, tendo em vista o recreio, a conservação da Natureza, a proteção da paisagem e a promoção das populações rurais*”. Esta lei revoga a Lei n.º 9/70 que já constatava a importância da constituição destas áreas para a proteção da Natureza e recursos naturais.

Ao Parque Natural da Arrábida (PNA), por conter predominantemente ecossistemas naturais ou seminaturais (ICNF, 2014), estão associados diferentes serviços de ecossistemas.

Os serviços de ecossistemas são os benefícios que os seres humanos retiram dos ecossistemas (MEA, 2005) sendo que o seu estudo permite analisar e quantificar a importância que estes têm para o bem-estar humano, auxiliando também a gestão sustentável desses serviços (Chen *et al.*, 2009).

O desenvolvimento económico gera alterações nos ecossistemas, tendo-se verificado que estas alterações podem ter como consequência a degradação dos ecossistemas naturais e dos serviços que proporcionam, pondo em causa os benefícios que as gerações vindouras possam vir retirar desses ecossistemas (MEA, 2005).

O armazenamento e sequestro do carbono é um dos serviços mais reconhecidos e considerado como uma das mais importantes soluções para diminuir os efeitos do CO₂ atmosférico (IPCC, 2005; Tallis *et al.*, 2013).

Os autores do secretariado para o CDB (Secretariat of the CBD, 2008) constataram que as áreas protegidas são reconhecidas como a base para a conservação da biodiversidade, indicando que estas estão consideravelmente em melhores condições de conservação do que as áreas envolventes fora dos limites da proteção. Também demonstraram a importância que estas áreas têm num contexto de conservação dos ecossistemas e serviços que proporcionam aos seres humanos, tendo apresentado quatro casos de estudo.

No caso de estudo do México é apontado que a política do país, quanto a estas áreas, é no sentido de não as isolar da economia nacional, pelo que as atividades aí existentes, estão apenas limitadas a um uso sustentável dos recursos naturais. O objetivo destas é então melhorar e consolidar o bem-estar das populações rurais preservando o estado “natural” em que estas zonas se encontram.

Estudos como os atrás referidos e outros semelhantes, mostram que existem grandes benefícios em ter apenas um projeto com dois objetivos essenciais: a otimização dos serviços dos ecossistemas, e em particular do armazenamento e sequestro do carbono, e da conservação da biodiversidade (Kirby & Potvin, 2007).

O estudo dos serviços dos ecossistemas do PNA, em particular o do armazenamento e sequestro do carbono, é portanto de extrema relevância não só pela importância do Parque mas também para garantir que os serviços prestados pelos ecossistemas aí presentes estejam a ser utilizados de forma sustentável.

1.2. Objetivos

O objetivo desta dissertação de mestrado vem no seguimento de um pedido do PNA sobre o estudo dos serviços dos ecossistemas desta área protegida. Pretende-se identificar e quantificar o serviço do ecossistema - armazenamento e sequestro do carbono no Parque utilizando como ferramenta principal ArcGIS para criar o Sistema de Informação Geográfica (SIG), associando também o InVEST.

Para atingir o objetivo serão desenvolvidas algumas tarefas essenciais:

- Análise de fotografias aéreas fornecidas pelo PNA;
- Trabalho de campo para validação da análise realizada;
- Análise dos resultados obtidos;
- Possível definição de um valor económico para esse serviço.

1.3. Estrutura da tese

Esta tese está estruturada em seis capítulos. O primeiro é uma introdução ao tema, onde é realizado um enquadramento, explicada a relevância deste trabalho, os objetivos e conteúdos.

O segundo capítulo é dedicado à revisão da literatura onde é definido o problema em estudo e são abrangidos os temas fulcrais a esta tese, sejam eles a quantificação dos serviços dos ecossistemas em áreas protegidas, a abordagem às várias metodologias existentes para o cálculo e a descrição do programa que será utilizado para os cálculos, o InVEST.

O terceiro capítulo diz respeito à metodologia, sendo feita a caracterização do PNA, sua descrição e importância, explicando-se como foi feito o processamento das fotografias aéreas e como se realizaram os cálculos com o InVEST.

No quarto capítulo apresentam-se resultados.

No quinto capítulo é feita a discussão dos resultados obtidos.

Por fim no sexto capítulo são feitas as conclusões finais, apresentadas as propostas de investigações futuras e ainda uma possível definição de valor económico para os serviços dos ecossistemas em estudo.

2. Revisão da literatura sobre os serviços dos ecossistemas

2.1. Os serviços dos ecossistemas

Os serviços dos ecossistemas consistem nos benefícios que os ecossistemas proporcionam ao Homem (Costanza *et al.*, 1997; MEA, 2005; Boyd & Banzhaf, 2007; Nicholson *et al.*, 2009; Reyers *et al.*, 2012). São exemplos os serviços de provisionamento como os alimentos, água e a energia; os serviços de regulação climática, como a regulação de cheias e purificação da água; serviços culturais como as atividades de recreio, educação e espirituais; e serviços de suporte como o ciclo dos nutrientes ou a formação do solo (MEA, 2005).

No entanto esta definição não é propriamente consensual por todos os autores, uma vez que é muito abrangente e não é possível, definir unidades para a sua quantificação (Boyd & Banzhaf, 2007; Fisher *et al.*, 2009; Lautenbach *et al.*, 2011). Um dos motivos porque a definição e quantificação é dificultada é devido ao facto da utilização da classificação do MEA poder levar a resultados duplicados, uma vez que se contabilizam duas vezes os processos dos ecossistemas que são considerados serviços (Boyd & Banzhaf, 2007; Wallace, 2007; Fisher *et al.*, 2009).

A definição de Daily (1997) indica que os *“serviços dos ecossistemas são as condições e os processos pelos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os fazem, sustentam e satisfazem a vida humana”*.

Costanza *et al.* (1997) definem os serviços de forma semelhante ao MEA, usando no entanto uma definição mais concreta: *“os bens e serviços dos ecossistemas representam os benefícios que a população humana obtém, direta ou indiretamente das funções dos ecossistemas”*.

Boyd & Banzhaf (2007) distinguem serviços dos ecossistemas finais definindo-os como *“componentes da natureza, apreciados, consumidos ou usados diretamente para proporcionar o bem-estar humano”*. Esta definição permite perceber melhor a diferença entre serviços e processos dos ecossistemas, separando os bens finais dos intermédios. De notar que as componentes, funções ou processos dos ecossistemas são essenciais para o bom funcionamento destes e produção dos serviços e bens finais. Esta definição assemelha-se à de Costanza *et al.* (1997), não sendo todavia exatamente idêntica.

Fisher *et al.* (2009), baseados na definição de Boyd & Banzhaf (2007), propõem que *“os serviços dos ecossistemas são os aspetos dos ecossistemas utilizados (ativa ou passivamente) para produzir bem-estar humano”*. Os autores indicam também que os serviços têm que ser fenómenos ecológicos e que não têm que ser diretamente utilizados.

Wallace (2007) indica que a classificação usada no MEA (serviços de provisão, regulação, culturais e suporte), não é consistente uma vez que muitos dos serviços indicados como exemplo são processos que servem para obter os serviços, tais como: a polinização, a formação do solo e a regulação da água.

Outros autores indicam que o conceito descrito no MEA é um conceito antropocêntrico, ou seja sem benefício não há serviços (Lautenbach *et al.*, 2011), mas consideram que é de extrema importância a

definição de metodologias que possam ser utilizadas por toda a comunidade científica de forma a ser possível a comparação dos resultados obtidos pelos vários investigadores (Boyd & Banzhaf, 2007; Fisher *et al.*, 2009; Lautenbach *et al.*, 2011).

O MEA, apesar de todas as críticas, foi incentivo para o desenvolvimento dos estudos na área dos serviços dos ecossistemas, uma vez que foi um passo importante para todo o conhecimento que temos hoje, sendo que em praticamente todos os artigos que foram estudados para o presente trabalho, de alguma forma, são mencionados os conteúdos deste.

O estudo dos serviços dos ecossistemas tem como objetivo analisar e quantificar a importância que os ecossistemas têm para o bem-estar do ser humano auxiliando na tomada de decisão no que diz respeito à gestão sustentável dos ecossistemas, auxiliando também na análise das alterações ecológicas e ambientais (Chen *et al.*, 2009).

No seguimento do MEA houve uma avaliação para Portugal o ptMEA. Foram identificados para Portugal, por exemplo, os serviços dos ecossistemas seguintes: A produção de alimento, água, madeira, cortiça, proteção do solo, regulação do ciclo hidrológico e qualidade da água, valor estético da paisagem, recreio, turismo e sequestro do carbono (H. Pereira *et al.*, 2009).

As ações antropogénicas para obtenção de recursos geraram uma degradação dos ecossistemas já desde há milhares de anos. Esta degradação deu-se essencialmente nas florestas, com o objetivo de aumentar a produção de alimento, tendo como consequências o desaparecimento destes ecossistemas, o abate de grandes mamíferos e ainda a erosão de montanhas (H. Pereira *et al.*, 2009).

A exploração dos ecossistemas resulta em desenvolvimento económico e em ganhos no bem-estar humano, no entanto, esta também tem resultado na degradação dos ecossistemas naturais e dos serviços que proporcionam, uma vez que, de um modo geral, só aquando da destruição destes serviços ou capital natural que sustenta esses serviços é que se obtém o benefício (Daily *et al.*, 2000; H. Pereira *et al.*, 2009; Nelson & Daily, 2010), isto irá pôr em causa a utilização dos mesmos pelas gerações vindouras (MEA, 2005), uma vez que na contabilização do valor dos bens e serviços, que os ecossistemas prestam à sociedade, apenas é incluído o valor do bem em si e não se entra em conta com o facto de possivelmente não se usufruir deles no futuro.

Deve-se enfatizar o facto de que o capital natural é tão ou mais importante do que o capital humano e o construído, porque é este que sustenta a produção dos serviços dos ecossistemas e é um *input* essencial para as nossas economias e meios de subsistência (Nelson & Daily, 2010).

Nos últimos tempos houve uma evolução no que diz respeito à perceção da produção de serviços pelos ecossistemas e como o fornecimento de serviços se transforma em valor económico (Costanza *et al.*, 1997; Daily *et al.*, 2000; MEA, 2005; Nelson *et al.*, 2009; Lautenbach *et al.*, 2011)

A quantificação dos serviços dos ecossistemas é difícil (Nelson *et al.*, 2009) e a avaliação dos benefícios dos ecossistemas envolve alguns dos problemas mais comuns em economia, isto é, relevar e agregar preferências e abordar a incerteza (Daily *et al.*, 2000).

O cálculo do valor dos serviços é problemático e associado a grandes incertezas mas se temos que tomar decisões sobre os serviços estamos de qualquer forma num processo de avaliação dos mesmos, portanto é importante assumir as incertezas associadas e tornar as avaliações tão explícitas quanto possível (Costanza *et al.*, 1997).

Não existe uma metodologia de avaliação dos serviços dos ecossistemas consistente para todos os serviços, porque, não existem unidades *standard* para contabilização ambiental (Boyd & Banzhaf, 2007; Wallace, 2007; Fisher *et al.*, 2009; Lautenbach *et al.*, 2011) e possivelmente por essa razão se torna tão complicada a quantificação destes.

O conceito de serviços dos ecossistemas pode e deve ser usado para ajuda na tomada de decisão em termos de gestão de recursos naturais (Wainger *et al.*, 2010). No entanto é necessária uma boa definição e classificação dos serviços, uma vez que as decisões implicam interações entre a sociedade e o meio natural (Fisher *et al.*, 2009; Nicholson *et al.*, 2009), ou seja, os gestores e decisores, utilizando os serviços dos ecossistemas para o apoio à decisão, necessitam de um profundo conhecimento de tudo o que diz respeito à complexidade de como os serviços beneficiam os seres humanos (Farber *et al.*, 2006).

No âmbito do apoio à decisão política existem dois paradigmas que são usados para realizar estudos sobre os serviços dos ecossistemas (Nelson *et al.*, 2009).

No primeiro paradigma a abordagem é mais geral, em que a ideia base é a “transferência de benéficos”, isto é, as áreas de estudo dizem respeito a regiões ou mesmo ao planeta inteiro, sendo estudados vários serviços para extrapolar algumas estimativas de valores baseados em tipos de habitat (Costanza *et al.*, 1997; Troy & Wilson, 2006; Nelson *et al.*, 2009) e considerado que cada hectare de um habitat tem um valor igual. Não tendo em conta a relação desse habitat com as ameaças circundantes, a sua qualidade ou raridade e sem considerar os impactos da gestão da ocupação do solo na produção dos serviços, dificultando a criação de políticas que estimulem essa produção (Nelson *et al.*, 2009).

Já o segundo paradigma tem uma abordagem muito mais focada apenas num serviço, numa área muito mais restrita é portanto mais específico, no entanto, esta é uma abordagem de menor escala e não entra em conta com relações entre os diferentes serviços e também com a influência da envolvente das áreas de estudo (Nelson *et al.*, 2009).

Considera-se que o ideal será uma abordagem integrada de média escala, de modo a integrar os benefícios dos dois paradigmas acima descritos tal como indica Nelson *et al.* (2009).

Para melhorar a qualidade e eficiência da decisão é necessário fornecer mais e melhores informações sobre os efeitos que essas poderão ter nos serviços dos ecossistemas e biodiversidade (Nelson *et al.*, 2008).

A visualização num mapa da avaliação económica dos serviços dos ecossistemas é de extrema relevância para a gestão a nível regional dos ecossistemas (Chen *et al.*, 2009), uma vez que as alterações à ocupação do solo têm grandes impactos nos bens e serviços que estes prestam à sociedade (Metzger *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2009; Padilla *et al.*, 2010;

Lautenbach *et al.*, 2011). Estas alterações proporcionam aos seres humanos mais recursos, bens e serviços, mas podem prejudicar a capacidade dos ecossistemas produzirem os mesmos, ou seja, a análise das alterações à ocupação do solo são de extrema relevância para estimar as consequências nos serviços dos ecossistemas (Padilla *et al.*, 2010).

No entanto, mais uma vez, pela dificuldade de quantificação dos serviços, a valorização também é dificultada. O valor de muitos tipos de capital natural e de serviços de ecossistemas pode não funcionar facilmente num mercado, ou mesmo não ser possível de se transacionar de todo. Dois dos motivos para tal são que a relação entre os benefícios retirados e o valor dos mesmos não ser direto e alguns dos benefícios que os humanos retiram para o seu bem-estar fazem-no sem sequer passar por alguma economia monetária, por exemplo o ar que respiram, a água, a formação de solo, a regulação do clima e valores estéticos (Costanza *et al.*, 1997). De notar que os valores estéticos se inserem nos serviços culturais, os quais são de extrema relevância no entanto inserem-se na categoria de serviços mais difíceis de quantificar e avaliar, são exemplos: Paisagem, património cultural e os aspetos recreativos e educacionais da natureza (MEA, 2005; Hernández-Morcillo *et al.*, 2013; Plieninger *et al.*, 2013).

No entanto, para muitos dos serviços dos ecossistemas já identificados existem formas de os avaliar e quantificar. O serviço dos ecossistemas que é avaliado neste trabalho é o armazenamento e sequestro do carbono. Seguidamente será feita uma explicação detalhada de como vários autores abordam este serviço.

2.2. Armazenamento e sequestro do carbono como serviço dos ecossistemas

As alterações climáticas causadas pelas atividades antropogénicas devem-se em grande parte às emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases com efeito de estufa que se vão acumulando na atmosfera (Stern, 2007).

De acordo com o IPCC, nos últimos 100 anos a temperatura aumentou entre os 0,6 °C e 0,7 °C e na próxima centena de anos prevê-se, dependendo dos cenários de emissões de gases com efeito de estufa, um aumento entre os 1,4 °C e 5,8 °C. Estas alterações poderão ter grandes consequências ambientais, como o aumento do nível do mar, maior frequência de eventos extremos, degelo dos glaciares, aparecimento de vetores de doenças e outros (Canaveira *et al.*, 2013).

O objetivo final da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, em 1992 foi a “*estabilização das concentrações dos gases com efeito de estufa na atmosfera*”, sendo que as partes são “*conhecedoras do papel e importância dos ecossistemas terrestres e marinhos como sumidouros e reservatórios dos gases com efeito de estufa*” (Decisão do Conselho nº 94/69/CE de 15 de dezembro de 1993) (IPCC, 2005)

A Decisão do Conselho nº 2002/358/CE de 25 de abril de 2002, aprova o Protocolo de Quioto, e, de entre os vários compromissos definidos enfatiza-se o seguinte: “*Proteger e melhorar os sumidouros e reservatórios de gases com efeito de estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, (...), bem como promover práticas sustentáveis de gestão da floresta, de florestação e de reflorestação.*” Este documento indica também que o armazenamento e sequestro do carbono, pelos sumidouros naturais,

é considerado como uma das opções para reduzir o efeito das emissões de CO₂ atmosférico provenientes das atividades antropogénicas (IPCC, 2005).

Alterações na ocupação do solo como a desflorestação, alteração de espécies vegetais, fogos, e outras, contribuem para o fenómeno do aquecimento global e alteração do clima, uma vez que alteram os *stocks* de carbono e o seu sequestro, podendo libertar grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera (Schulp *et al.*, 2008; Fahey *et al.*, 2010; Canaveira *et al.*, 2013; Tallis *et al.*, 2013).

A gestão correta das florestas ou boas práticas na agricultura podem contribuir para o aumento dos sumidouros de carbono. De facto, a boa gestão dos ecossistemas é essencial para a regulação do clima (IPCC, 2005; Fahey *et al.*, 2010; Tallis *et al.*, 2013).

Cada tipo de ocupação de solo difere na quantidade de carbono armazenada no solo e vegetação (Rodríguez-Murillo, 2001; Schulp *et al.*, 2008; Díaz-Pinés *et al.*, 2011).

Os ecossistemas terrestres têm portanto grande importância no que diz respeito ao armazenamento do carbono uma vez que conseguem ter mais carbono do que a atmosfera, tendo um papel fundamental no que diz respeito à regulação dos gases de efeito de estufa. (Tallis *et al.*, 2013).

O armazenamento e sequestro do carbono constitui um dos serviços dos ecossistemas mais reconhecido (Feng, 2005; Tallis *et al.*, 2013) e um dos poucos para os quais já se aplica um valor económico, precisamente pelo seu potencial custo-eficiente como estratégia de mitigação (Feng, 2005).

O sequestro do carbono consiste na transferência do CO₂ atmosférico para *reservatórios* de longa duração, onde fica armazenado de forma “segura” não sendo reemitido imediatamente para a atmosfera (Lal, 2004a; Feng, 2005).

Nos ecossistemas, o carbono é armazenado na biomassa e no solo, que impedem que o CO₂ seja libertado rapidamente para a atmosfera (Rodríguez-Murillo, 2001; Schulp *et al.*, 2008; Tallis *et al.*, 2013). Os ecossistemas em fase de crescimento acumulam o carbono, sequestrando assim uma quantidade adicional por ano (Tallis *et al.*, 2013).

Clarificando a diferença entre armazenamento e sequestro de carbono, existe apenas sequestro de carbono durante o crescimento da vegetação, o carbono acumulado é aquele que já se encontra na vegetação.

Tallis *et al.*, (2013) indicam que para a gestão de áreas, tendo em conta o sequestro de carbono, são necessárias as seguintes informações:

- Como e quanto carbono está armazenado;
- A quantidade de carbono é sequestrada ou perdida ao longo do tempo;
- Como as alterações de ocupação do solo afetam a quantidade de carbono armazenado e sequestrado ao longo do tempo.

O armazenamento de carbono depende essencialmente do tamanho de quatro *reservatórios* de carbono que podem ser identificados na figura 2.1, sendo estes a biomassa acima do solo, a

biomassa abaixo do solo, o carbono no solo e a matéria orgânica morta (Fahey *et al.*, 2010; T. Pereira *et al.*, 2010; Tallis *et al.*, 2013).

Os maiores *reservatórios* são a biomassa acima do solo (viva) e carbono orgânico no solo (Fahey *et al.*, 2010).

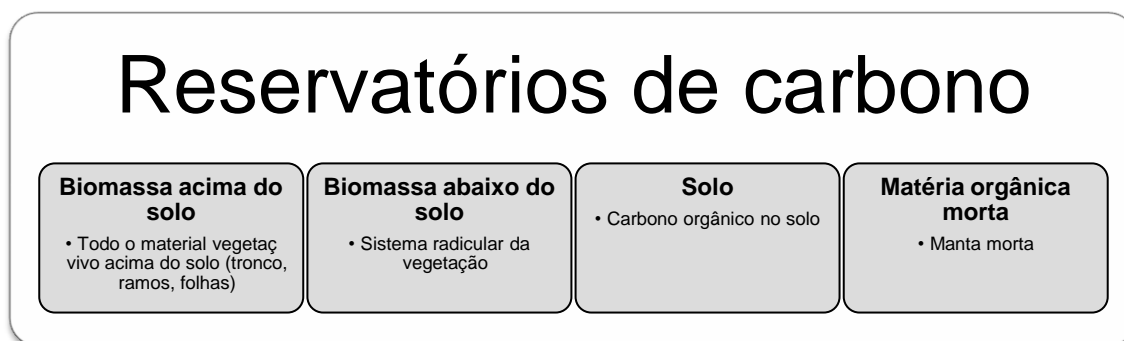


Figura 2.1 - Reservatórios de carbono, adaptado de Tallis *et al.* (2013) e Pereira *et al.* (2010)

Existem vários métodos de contabilização do carbono, descrevendo Feng (2005) três: a média anual de carbono, o carbono anualizado e as toneladas de carbono por ano. A primeira é a mais utilizada e é o resultado da soma do carbono total sequestrado ao longo de um determinado período de tempo, dividido pelo tamanho desse período. O segundo método desconta o valor do carbono que é sequestrado mais tarde, refletindo a preferência pelos benefícios que ocorreram mais cedo. O terceiro entra em conta com o carbono que é mantido fora da atmosfera, sendo que este método facilita a comparação entre projetos que sequestram carbono ao longo de diferentes períodos de tempo.

De ter em atenção que diferentes métodos de contabilização podem trazer benefícios a diferentes projetos de armazenamento e sequestro do carbono, ou seja, os decisores políticos podem utilizar o método que favorece o projeto que querem realmente implementar (Feng, 2005).

O valor económico do sequestro do carbono pode ser estimado através dos preços de mercado do carbono. No entanto, esta estimativa resulta em valores que têm implicações políticas, subsídios e outros fatores que impedem de se encontrar o valor “correto” para este serviço. Precisamente por esse motivo, os autores Tallis *et al.* (2013) sugerem a não utilização dos preços de mercado para a estimativa pretendida. É recomendada a utilização apenas dos danos evitados das emissões de CO₂ (valor social), porque é esse valor que reflete efetivamente o benefício do serviço para o Homem.

No entanto o valor social do carbono constitui um cálculo complexo que implica a obtenção de dados extensos e no presente trabalho foram utilizados os valores do preço de mercado.

Cruickshank *et al.* (2000) utilizaram a informação do CORINE Land Cover para estimar a quantidade do carbono armazenado por tipo de ocupação do solo, na Irlanda. Consideram que a quantidade de carbono armazenada é a área de cada tipo de ocupação do CORINE multiplicada pela densidade de carbono (t C ha⁻¹).

A metodologia aplicada por estes autores baseou-se em três elementos essenciais: o primeiro que é a distinção da densidade do carbono pelos vários tipos de ocupação do solo, o segundo o mapeamento da densidade ao longo da Irlanda e o terceiro o cálculo do carbono armazenado por cada classe, regiões e total da Irlanda (Cruickshank *et al.*, 2000).

Os autores concluíram que as florestas têm acumulado mais carbono do que qualquer uma das outras classes do CORINE (49 % do carbono total armazenado) em menos de 5 % da área total em estudo. Na vegetação seminatural o carbono armazenado é 22 % do total. Já a classe das pastagens apesar de representarem 56% da área total em estudo, apenas têm acumulado, 19 % do carbono total (Cruickshank *et al.*, 2000).

Este estudo acaba por mostrar uma forma expedita de cálculo utilizando SIG, sendo o maior problema a obtenção de dados para a densidade de carbono (Cruickshank *et al.*, 2000).

Existe um outro caso de estudo elaborado pelo secretariado para a CBD (Secretariat of the CBD, 2008) para no México. Os autores focam-se na importância que as áreas protegidas têm para o fornecimento de bens e serviços que os seres humanos possam beneficiar. De entre os dois serviços dos ecossistemas estudados um é o armazenamento e sequestro do carbono.

Os autores deste estudo usaram SIG para estimar o papel das áreas protegidas na mitigação das alterações climáticas a nível global. Com o objetivo de chegar a uma estimativa do carbono armazenado nos ecossistemas, utilizaram informação de ocupação do solo e dados de capacidade de armazenamento de carbono (biomassa acima do solo, raízes e solo) para os vários tipos de vegetação. Ainda associaram uma estimativa de valor económico potencial ao total de carbono armazenado, considerando dois cenários: o primeiro numa perspectiva de carbono evitado, no valor mínimo de 5 dólares americanos por tonelada de CO₂ sequestrado e o segundo em dólares por hectare que sequestra carbono, aproximadamente 400 dólares americanos que é o preço que o México estaria a pagar antes de 2008 por hectare de carbono sequestrado (Secretariat of the CBD, 2008).

Os resultados são uma totalidade de aproximadamente 2000 Mt de CO₂ numa área total de áreas protegidas de 12 milhões hectares. Sendo o valor potencial estimado de aproximadamente 10 mil milhões de dólares por tonelada de CO₂ para o primeiro cenário e 5 mil milhões de dólares por hectare no segundo (Secretariat of the CBD, 2008).

Seguidamente será apresentado o método que foi aplicado para o caso em estudo na presente tese.

2.3. InVEST

InVEST significando *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, é um programa que funciona como as ferramentas de script no ambiente ArcGIS ArcToolbox. É constituído por vários modelos que permitem a quantificação e mapeamento do valor dos serviços dos ecossistemas (Tallis *et al.*, 2013).

É uma ferramenta de modelação espacialmente explícita e que se baseia em funções de produção ecológica e métodos de avaliação económica (Nelson *et al.*, 2009).

Este programa foi desenhado para apoio à decisão na gestão de recursos naturais, sendo possível examinar os vários serviços como um todo, de modo a chegar a uma solução eficaz de forma integrada e permitindo decidir onde e como investir no capital natural para assegurar a preservação das áreas protegidas (Tallis *et al.*, 2013).

Os modelos utilizam mapas como fonte de informação e fornecem mapas como resultado, originando valores tanto em termos económicos como em termos biológicos, dependendo da necessidade dos utilizadores (Nelson *et al.*, 2009; Tallis *et al.*, 2013).

O InVEST pode ser utilizado em vários níveis de complexidade, podendo o utilizador escolher os modelos mais simples, que não necessitam de tantos dados ou os modelos mais complexos, que exigem um maior número de parâmetros de entrada (Nelson *et al.*, 2009; Tallis *et al.*, 2013).

Para o âmbito deste trabalho, entre os vários modelos que constituem esta ferramenta, salienta-se o modelo para a análise do **armazenamento e sequestro de carbono**.

2.3.1. Armazenamento e sequestro de Carbono no InVEST

O módulo do InVEST de armazenamento e sequestro de Carbono foca-se no valor social do sequestro e armazenamento (Nelson *et al.*, 2009; Tallis *et al.*, 2013).

Uma vez que o programa foi desenvolvido para auxílio na tomada de decisão e os decisores necessitam de definir quais as áreas num determinado local que serão mais adequadas para um determinado uso (e.g. proteção colheita ou desenvolvimento), esta ferramenta proporciona uma visualização do armazenamento e sequestro do carbono a nível espacial (mapa), facilitando a decisão (Tallis *et al.*, 2013).

Estes mapas podem também ser utilizados por organizações não-governamentais, pelo governo ou mesmo por empresas, de modo a identificar oportunidades para a redução das emissões, como a florestação de uma determinada zona, por exemplo. Estes mapas facilitariam governos decidir a que proprietários de florestas dar incentivos de modo a que estas sejam conservadas (Tallis *et al.*, 2013).

Para estimar a quantidade de carbono armazenada num determinado local em estudo, ou a quantidade de carbono armazenado ao longo de um período de tempo, o modelo usa mapas de ocupação do solo e dados de *stocks* de carbono na biomassa acima e abaixo do solo, solo, e matéria orgânica morta (Tallis *et al.*, 2013).

Nelson *et al.* (2009) usaram esta ferramenta para o estudo da bacia de Willamette em Oregon, tendo como base um mapa de ocupação do solo de 1990 e três cenários de alteração da ocupação do solo para 2050, construídos de forma participada pelas partes interessadas, um com o objetivo de conservação com foco na proteção e restauro, o segundo com vista no desenvolvimento e o terceiro mantendo a tendência das políticas que estavam em vigor em 1990.

Os autores tinham como objetivo mostrar de que forma estes cenários afetam os serviços hidrológicos, conservação do solo, sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e o valor de vários bens comercializáveis. Propuseram-se ainda estudar os padrões espaciais da provisão dos serviços dos ecossistemas (Nelson *et al.*, 2009).

A área total da bacia é de 29 728 km². A população na bacia em 1990 era de dois milhões de pessoas e para os três cenários de 2050 assume-se um aumento de 3,9 milhões de pessoas (Nelson *et al.*, 2009).

Para atingir o objetivo pretendido usaram os modelos do InVEST mais simples com foco nos resultados em termos biofísicos (Nelson *et al.*, 2009).

Assumiram que os serviços dos ecossistemas, conservação da biodiversidade e produção de bens dependem das características da área e do padrão de ocupação do solo. A resolução utilizada foi de 30m por 30m, tendo no entanto os autores deixado a indicação de que de modo geral o InVEST pode ser corrido em unidades espaciais de qualquer resolução (Nelson *et al.*, 2009).

O modelo corre com auxílio de um mapa em formato *raster*, sendo a cada célula do mapa atribuído uma ocupação do solo. Para cada tipo de ocupação do solo é requerida uma estimativa da quantidade de carbono de pelo menos um dos *reservatórios* referidos acima, sendo que quanto mais informação for fornecida, mais completo será o resultado. Este modelo aplica as estimativas do carbono ao mapa de ocupação do solo, resultando um mapa que contém o carbono armazenado nos quatro *reservatórios*, agregando no final todos esses valores e fornecendo ainda o valor total de carbono armazenado (Tallis *et al.*, 2013).

Com esta ferramenta é possível também calcular a variação do armazenamento de carbono ao longo do tempo, sendo para isso necessário que o utilizador forneça pelo menos dois mapas de ocupação do solo com datas diferentes (e.g. presente e cenário futuro, ou passado e presente), calculando então o modelo as diferenças entre eles (Tallis *et al.*, 2013).

Nelson *et al.* (2009), no seu estudo, avaliaram vários serviços, entre eles, o sequestro do carbono, tendo para este sido feito um estudo da variação do carbono armazenado na biomassa acima e abaixo do solo, no solo e nos produtos de madeira colhidos. A quantidade de carbono sequestrada numa área num determinado período de tempo é determinada subtraindo o carbono armazenado nessa área no início com a quantidade de carbono armazenada no fim do período de tempo estabelecido. Foi também calculado o valor social do sequestro do carbono.

Este modelo é um modelo simples e pela sua simplificação apresenta algumas limitações: a simplificação do ciclo do carbono, mais concretamente a não inclusão das taxas fotossintéticas e da presença de organismos animais ativos e vivos na matéria orgânica do solo, os quais influenciam também na quantidade de carbono armazenado e sequestrado, ou seja, o modelo não inclui a dinâmica que existe no ciclo do carbono, considerando apenas os quatro (ou cinco) *reservatórios* de carbono de forma estática, sem a influência do clima, da decomposição da madeira abatida e de outros, comprometendo assim os valores dos *stocks* introduzidos no modelo; Os autores assumem também a hipótese de que o carbono sequestrado ao longo do tempo assume uma função linear, o que pode não corresponder exatamente a realidade (Tallis *et al.*, 2013).

É de ter em atenção que o resultado deste modelo é tanto mais fiável quanto melhor classificação de ocupação do solo utilizada, ou seja, quanto mais específica a classificação, podendo no entanto ser difícil obter valores dos *reservatórios* de carbono para classes muito específicas (Tallis *et al.*, 2013).

Os resultados apresentados por Nelson *et al.* (2009) foram os expetáveis, sendo o cenário de conservação o que teve melhores resultados com menores perdas no que diz respeito à conservação da biodiversidade e serviços dos ecossistemas. Neste cenário o sequestro do carbono aumentou substancialmente, enquanto que nos outros dois cenários só aumentou ligeiramente.

Este caso de estudo, sendo uma análise entre vários cenários realistas da alteração da provisão e valor dos serviços dos ecossistemas, distingue-se dos estudos mais gerais e abrangentes de troca de benefícios como por exemplo o de Costanza *et al.* (1997) (Nelson *et al.*, 2009).

Outra das conclusões deste estudo é que existem indicações de que quando os proprietários tomam decisões apenas tendo em conta os resultados de mercado, tende-se a gerar padrões de ocupação do solo com menor provisão de serviços e menor conservação da biodiversidade (Nelson *et al.*, 2009).

Uma nota interessante deste estudo é que se o mercado do carbono emergir pode tornar-se compensatório para os proprietários investirem em ocupações do solo que favoreçam o sequestro do carbono (Nelson *et al.*, 2009).

Os autores ressaltam que é necessário uma etapa antes de se instituir planos para o pagamento destes serviços, sendo necessário estudar claramente a relação entre a provisão dos serviços e o uso que as pessoas lhes dão. Acrescentam ainda que não incluíram o valor dos bens gerados nas áreas urbanizadas, subestimando assim o valor destes (Nelson *et al.*, 2009).

Ainda de sublinhar o facto de que a bacia estudada pelos autores tem uma grande área de floresta que se pensa que pode ter servido de tampão para as pequenas diferenças que se verificaram quanto à provisão de serviços dos ecossistemas na comparação dos três cenários, uma vez que estas florestas não são adequadas ao desenvolvimento urbano nem para a agricultura (Nelson *et al.*, 2009).

Os autores notam que fará falta a introdução de outras componentes sem ser a ocupação do solo. Falta também incluir efeitos de *feedback* como o valor da utilidade das áreas protegidas, que podem eventualmente repercutir em pressões que afetam essas mesmas áreas (Nelson *et al.*, 2009).

3. Metodologia

3.1 Abordagem geral

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho apresenta-se na figura 3.1.



Figura 3.1 - Esquema metodológico

3.2 Caracterização do PNA e descrição da sua importância

O PNA, constituído como Parque Natural pelo DL nº 622/76, de 28 de julho, situa-se na Área Metropolitana de Lisboa (AML), mais especificamente na Península de Setúbal (Almeida, 1998; ICNB, 2003b), abrangendo três concelhos, Palmela, Sesimbra e Setúbal e ocupando uma área de aproximadamente 17 000 hectares, sendo mais de 5 000 área marinha (ICNF, 2014).

Esta área já tinha sido considerada como Reserva da Serra da Arrábida pelo Decreto nº 355/71, de 16 de agosto, pelas suas características únicas, não só como zona verde e natural da AML mas também pelo seu grande valor científico, cultural, histórico e paisagístico. Neste decreto reconhece-se também que estes valores estariam em causa devido às pressões urbanísticas e industriais que se faziam sentir.

O DR nº 23/98, de 14 de outubro e o DR nº 11/2003, de 8 de maio, ampliam a área definida anteriormente para o parque. O primeiro Decreto Regulamentar reconhece a importância do litoral marinho que não foi incluído, reclassificando o Parque, e criando o Parque Marinho do Professor Luís Saldanha. O segundo Decreto Regulamentar alarga os limites do parque para a área atual, reconhecendo os valores geológicos existentes no Cabo Espichel, fazendo incluir os monumentos nacionais Pedra da Mua e Lagosteiros, o litoral do Cabo Espichel, os conglomerados intraformacionais do Alto da Califórnia, Gesseira de Sesimbra, as cristas dos conglomerados da Azoia e a plataforma do Cabo Espichel.

Mais uma vez, reconhecendo a importância da gestão sustentada dos meios marinhos e em particular do litoral marinho da serra da Arrábida, em 1998 é criada a reserva marinha da Arrábida pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 85/98, de 10 de julho

No âmbito da Rede Natura 2000, em 1997 é criado o Sítio “Arrábida – Espichel” pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/97, de 28 de agosto, proposto para Sítio de Importância Comunitária (ICNF, 2014). Em 1999 é criada a Zona de Proteção Especial para Aves Selvagens “Cabo Espichel” pelo DL n.º 384-B/99, de 23 de setembro.

O Plano de Ordenamento do Parque Natural da Arrábida (POPNA) é aprovado em 2005, pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 141/2005, de 23 de agosto. Este estabelece “*regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais e fixa os usos e o regime de gestão com vista a garantir a manutenção e a valorização das características das paisagens naturais e seminaturais e a diversidade biológica da respetiva área de intervenção.*” Define as áreas prioritárias para a conservação da natureza, indicando níveis de proteção e uso, sendo estes: proteção total, parcial e complementar.

Em termos geológicos esta zona apresenta imensas particularidades únicas e de grande interesse, sendo de destacar o Litoral do Cabo Espichel com grande valor ao nível da paleontologia, da presença dos monumentos naturais já referidos acima: a existência de várias estruturas geológicas de grande relevância, a Plataforma do Cabo Espichel, a Gesseira de Sesimbra, os Conglomerados Intraformacionais do Alto da Califórnia e as grutas (cavidades cárnicas) (ICNB, 2003b; ICNF, 2014).

O clima da região é mediterrânico, ou seja, há duas estações mais extremas o Verão e o Inverno (quente e seco e frio e húmido, respetivamente) e duas estações intermédias que as intercalam. O oceano Atlântico confere algumas particularidades ao clima, diminuindo as amplitudes térmicas e aumentando a humidade atmosférica (Almeida, 1998).

O PNA constitui um sistema natural que contém várias espécies de flora e fauna de grande interesse ecológico, com particular ênfase para o Maquis mediterrânico e a fauna marinha da Pedra da Anixa (ICNB, 2003b).

As características botânicas únicas deste local devem-se à sua localização, às suas características climáticas e geológicas e à influência humana sobre o local (ICNF, 2014), apresentando a Arrábida uma vegetação e flora rica em endemismos e raridades, pelo que tem estatuto internacional de Reserva Biogenética (ICNB, 2003a).

Em termos florísticos foram inventariados aproximadamente 1450 *taxa*, das quais 90 com elevado valor. Pelo seu interesse biogenético, de raridade e grau de proteção das espécies, foram distinguidas zonas de valor excecional e relevante (ICNB, 2003a).

A vegetação do local foi agrupada por Pedro, 1998 em oito tipos de formações: formações rupestres, ervedos, tomilhais, matos, matagais, brenhas, machiais e matas. Abaixo passam-se a explicar onde e em que condições existem estas formações e exemplos de espécies existentes no PNA¹.

As formações rupestres encontram-se em locais onde a rocha está à superfície, aparecendo nas cristas das elevações e nas falésias e arribas marítimas.

Relativamente aos ervedos, que são as comunidades de herbáceas e gramíneas, ocorrem geralmente em clareiras, ou preenchendo espaços entre as formações rupestres e lenhosas.

Os tomilhais são comunidades abertas, de subarbustos esclerofilos, que geralmente não atingem mais do que o meio metro de altura, podendo estes surgir devido a alterações na vegetação natural, como queimadas, pastoreio, e outros.

Os matos, também são comunidades abertas de subarbustos esclerofilos de baixo porte, podendo no entanto atingir o metro de altura, situando-se comumente nas lombadas das maiores elevações e nas vertentes mais declivosas que estão mais expostas ao sol. Normalmente é uma vegetação que aparece em solos mediterrâneos de espessura fraca, junto a afloramentos rochosos calcários ou substratos arenosos.

Os matagais são uma vegetação mais fechada de subarbustos e pequenos arbustos (porte baixo e médio), aparecendo mais nas depressões e elevações com menos exposição solar em solos idênticos aos dos matos mas acompanhando as linhas de água.

Quanto às brenhas, que são comunidades cerradas relativamente densas de arbustos e subarbustos (um a dois metros de altura) e caracterizadas pela presença de lianas, encontram-se nos locais mais húmidos e com pouca exposição solar.

Os machiais apresentam porte arborescente, sendo constituídos por comunidades cerradas de arbustos esclerofilos de folha perene. As espécies neles presentes constituem o sub-bosque da floresta anteriormente existente, e apresentam o porte arbóreo uma vez que deixou de existir competição com as outras espécies da floresta. Encontram-se em zonas com melhor exposição solar, nas ravinas e vales interiores.

Quanto as matas, são comunidades mais ou menos fechadas, de porte arbóreo, sendo estas as Matas do Vidal, Coberta e do Solitário, nelas se encontram espécies com aspetos únicos, comparando com outras espécies de serras calcárias de Portugal (ICNF, 2014) .

Quanto à paisagem, o valor é excecional, pela presença de todos os valores referidos anteriormente.

Existe uma forte influência humana na serra. De entre as atividades económicas presentes salienta-se a produção do Queijo de Azeitão, com o seu sabor característico apenas conseguido devido às características da vegetação do parque; o moscatel de Setúbal; o mel da região, influenciado pelos aromas da vegetação presente na serra e a pesca artesanal (ICNF, 2014).

¹ Nota: a descrição que se segue é retirada de uma edição anterior de Pedro, 1998 (citado por Almeida, 1998 e Cunha, 2013)

Existem também variados monumentos histórico-culturais no Parque: diversos sítios arqueológicos representativos do paleolítico, neolítico, idade do cobre, bronze e ferro, ocupação romana e árabe, sendo possível ver também arquitetura militar (diversos fortes de várias eras), religiosa (convento da Arrábida) e rural (moinhos de vento) (ICNF, 2014).

3.3 Área de estudo

A área de estudo encontra-se inserida nos limites do PNA, sendo possível observar a sua localização na figura 3.2. Abrange dois dos municípios que em que o parque se insere sendo estes os municípios de Sesimbra e de Setúbal.

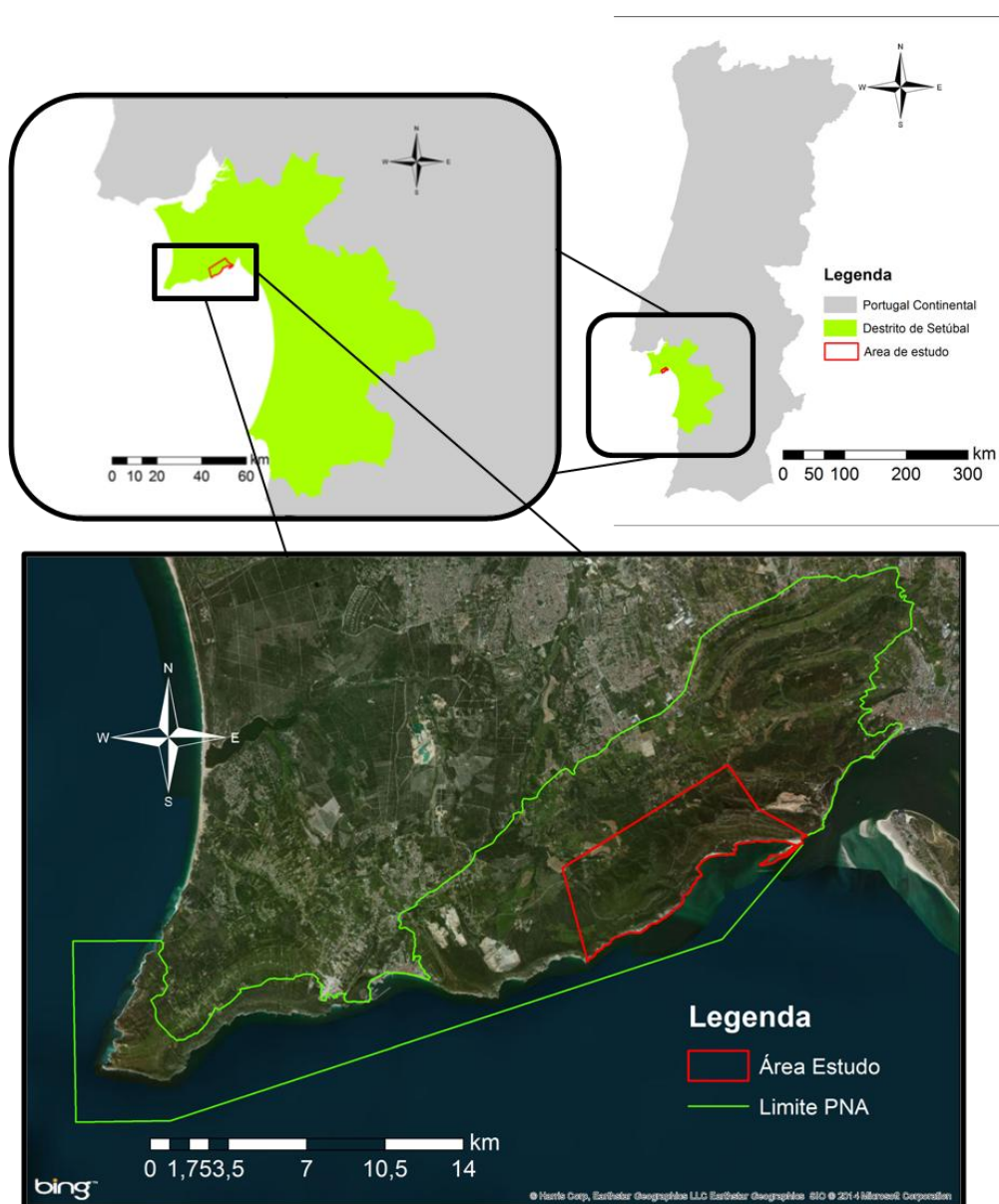


Figura 3.2 - Localização da área de estudo e enquadramento no PNA (Fonte: ICNF e Bing Maps)

A área de estudo abrange a Serra da Arrábida e lá se localizam as matas do Vidal, Coberta e Solitário, as quais estão classificadas como áreas de proteção total. A área também inclui uma pequena parte do Parque marinho. Essencialmente toda a área de estudo se encontra em proteção

parcial, excetuando a área do Portinho da Arrábida que é de proteção complementar e as matas que são de proteção máxima (proteção total).

3.4 Processamento das fotografias aéreas

Com o objetivo de obter mapas com a ocupação do solo necessários para a modelação do armazenamento e sequestro do carbono, foi efetuado o processamento de fotografias aéreas de 3 anos, 1967, 1978 e 2010.

Para os anos de 1967 e 1978 utilizaram-se fotografias aéreas de escala aproximada 1/15 000, fornecidas pelo PNA e para o ano de 2010 foram utilizadas imagens de satélite do Microsoft® Bing Maps.

Para o tratamento da informação utilizou-se o programa o ArcGIS 10.1 para criar o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As fotografias aéreas depois de rasterizadas, com a resolução 600 dpi (dots per inch), foram georreferenciadas. A média de pontos utilizados na georreferenciação para o ano de 1967 é de 16 pontos e, para o ano de 1978, de 12 pontos. Os erros médios, máximo e mínimo da georreferenciação podem ser observados na tabela 3.1, apresentando-se no Anexo I todos os erros para cada fotografia georreferenciada.

Tabela 3.1 – Erros (m) relativos às fotografias aéreas dos anos em estudo

	1967	1978
Média	11,6	7,2
Máximo	35,1	25,9
Mínimo	4,5	3,0

Em todas as fotografias, com a exceção da fotografia aérea número 89074, da fiada 8 de 1967, na qual foi efetuada uma transformação polinomial de primeira ordem, foram utilizadas transformações polinomiais de segunda ordem para realizar a georreferenciação das mesmas. Para a fotografia especificada foi utilizada a transformação polinomial de primeira ordem uma vez que o erro era menor.

Enfatiza-se o facto de que em 1967 os erros são superiores aos de 1978.

O método de fotointerpretação foi a atualização regressiva (Peccol *et al.*, 1996), constituindo esta técnica na interpretação das fotografias mais recentes antes das mais antigas, uma vez que têm geralmente maior detalhe e qualidade, o que facilita a definição das diferentes ocupações do solo. Para complementar a informação utilizou-se também o Google Earth™ e ortofotos de Infravermelho Próximo, do voo 2004 a 2006 do IGP.

Depois de um estudo aprofundado da área de estudo foram definidas 17 classes de ocupação do solo. Também se usaram definições de classes encontradas em Canaveira *et al.* (2013) e Muñoz-Rojas *et al.* (2011). As classes estão explicadas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Classes de ocupação do solo utilizadas e suas definições

Classe	Definição
Areal_Rochas	Areia, junto à linha de costa e rochas
Canas	Caniais
Edificado	Edifícios, piscinas e outros
Florestas	Floresta de produção; pinhais
Herbaceas	Zonas com vegetação rasteira, essencialmente herbáceas
Jardins	Zonas de jardim
Lagos	Pequenas massas de água
Mar	Zona de mar
Matas	Mata do Vidal, Mata Coberta, Mata do Solitário
Matos	Matos, vegetação esclerófila
Pomar	Zonas com pomar plantado; oliveiras
Solo Nu	Solo nu ou compactado
Vias Alcatroadas	Vias pavimentadas com alcatrão
Zona Agrícola	Zona agrícola em utilização ou em pousio
Zona Agrícola Complexa	Zona agrícola ou pasto com mais do que uma utilização, geralmente com presença de árvores dispersas.
Zona Artificializada	Zonas que foram de algum modo artificializadas, pequenas construções, acessos com pavimentações de calçada portuguesa, cimento ou azulejo.
Pedreira	Pedreira da Secil, a vegetação presente em 2010 é correspondente a espécies herbáceas e arbustivas, sendo que a pedreira foi submetida a programas de recuperação paisagística usando vegetação autóctone (Secil, 2011) .

É importante referir algumas notas sobre a pedreira do Outão da fábrica de cimento da Secil: o estudo prévio de Recuperação Paisagística da pedreira da Secil foi realizado pelo arquiteto Edgar Fontes e data de 1965 e o primeiro Projeto de Recuperação Paisagística da pedreira data de 1973, mas no entanto a recuperação apenas teve início no ano de 1982.

A fotointerpretação foi efetuada utilizando a ferramenta ArcGIS em ecrã. Construíram-se três *shapefiles* (ficheiros vetoriais de polígonos), um para cada ano em estudo.

Realizou-se ainda trabalho de campo para verificação da fotointerpretação da data mais recente, onde foram confirmadas as classes de ocupação do solo na área de estudo. Esta verificação foi realizada essencialmente a partir das estradas e pontos altos (miradouros) onde era possível ter um maior ângulo de visão. Foi feita uma deslocação aos locais, onde existiam dúvidas pontuais e tiraram-se fotografias elucidativas.

3.5 InVEST

Os dados necessários para a avaliação do armazenamento e sequestro do carbono no InVEST são um **mapa de ocupação do solo** em formato raster, com uma classificação numérica para cada tipo de ocupação do solo para cada célula e uma **tabela dos reservatórios de carbono**, onde estejam especificados os valores correspondentes a cada classe de ocupação do solo dos quatro *reservatórios* de carbono: Carbono acima e abaixo do solo, carbono no solo e carbono da matéria orgânica morta todos em $t\ ha^{-1}$.

Os mapas em formato raster para os vários anos foram obtidos fazendo a transformação *polygon to raster* com as ferramentas do *Convert Tools* do ArcGIS, a partir dos ficheiros vetoriais (*shapefiles*) que resultaram do processamento das fotografias aéreas. O tamanho da célula escolhido foi 2m x 2m.

Os valores dos *reservatórios* de carbono foram obtidos através de pesquisa bibliográfica e apresentam-se na tabela 3.3. Têm correspondência a tipos de ocupação do solo e vegetação iguais ou semelhantes aos presentes na área de estudo.

Tabela 3.3 - Revisão de literatura para valores dos *reservatórios* de carbono

Autores	Localização	Categoria ou espécie	Biomassa acima do solo	Biomassa abaixo do solo	Carbono no solo	Carbono na manta morta
			t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
(Vogt <i>et al.</i> , 1996)		Floresta mediterrânea folhosa perene	269	5	11	
(Davies <i>et al.</i> , 2011)	Inglaterra	Vegetação herbácea	1,4 (0,1)			
		Matos	137,9 (32,5)			
		Matos altos	123,5 (33,8)			
		Arvores	280,6 (32,9)			
		Jardins domésticos	7,9 (2,3)			
(Simões <i>et al.</i> , 2012)	Évora, Portugal (Matos dimórficos mediterrâneos)	<i>Cistus salviifolius</i>	9,1 (0,63)	9,73 (1,97)		0,66 (0,12)
		<i>Cistus ladanifer</i>	15,74 (0,85)	13,56 (0,23)		0,86 (0,27)
(Almagro <i>et al.</i> , 2010)	Espanha (ecossistema mediterrâneo)	Floresta	32,938 (20,726)	3,054 (0,429)	51,893 (1,549) ^b	
		Campo Abandonado 25 anos - Matos típicos mediterrâneos	3,513 (0,4964)	2,529 (0,42,9)	30,6 (4,41) ^b	
		Olival	8,303 (0,521)	1,622 (0,43,8)	26,58 (5,1482) ^b	
(Ruiz-Peinado <i>et al.</i> , 2013)	Oeste de Espanha (Dehesas Ibéricas)	<i>Cistus ladanifer</i> L.	8,551			
		<i>Retama sphaerocarpa</i>	3,492			
(Fonseca <i>et al.</i> , 2012)	Montesinho, Portugal	<i>C. ladanifer</i>	5,3	3,2		
		<i>C. multiflorus</i>	4,8	2,3		
		<i>E. australis</i>	6,9	17,1		
(Nunes <i>et al.</i> , 2013)	Vila Real, Portugal	Pinheiro (ano 2008)	78,4 (11,4)			
		Carvalho (ano 2008)	58,0 (8,8)			
		Misto de pinheiro e carvalho (ano 2008)	104 (24,9)			
		Pinheiro (ano 2009)	83,4 (11,9)			
		Carvalho (ano 2009)	61,4 (8,9)			

Autores	Localização	Categoria ou espécie	Biomassa acima do solo	Biomassa abaixo do solo	Carbono no solo		Carbono na manta morta
			t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹		t ha ⁻¹
		Misto de pinheiro e carvalho (ano 2009)	110,5 (25,0)				
(Canaveira <i>et al.</i> , 2013)	Portugal	<i>Pinus pinaster</i>	26,74	3,14			
		<i>Quercus suber</i>	20,04	2,94			
		<i>Quercus rotundifolia</i>	8,37	4,92			
		<i>Quercus</i> spp.	15,87	4,69			
		Outras folhosas	30,79	13,34			
		<i>Pinus pinea</i>	18,79	1,46			
		Outras coníferas	14,51	1,76			
		Áreas agrícolas de regadio	0,31	0,31			
		Áreas agrícolas de sequeiro	0,31	0,31			
		Vinhas	3,34	2,87			
		Olival	7,85	1,15			
		Outras zonas agrícolas permanentes	8,46	1,48			
		Outras pastagens	0,53	0,94			
		Zonas alagadas	0	0			
		Zonas Urbanizadas	0	0			
		Matos	8,78	4,94			
(Nieto <i>et al.</i> , 2012)	Espanha	Matos (vegetação nativa)			111,6 (40,8) ^c		
		Olival			22,9 (8,0) ^c		
(Boix-Fayos <i>et al.</i> , 2009)	Espanha (ecossistema mediterrâneo)	Floresta grande densidade			14,19 (8,96) ^a		
		Floresta media densidade			12 ^{a*}		
		Floresta baixa densidade			11 ^{a*}		
		Matos			7,5 ^{a*}		
		Pastos			7,55 ^{a*}		
		Zona agrícola sequeiro			4,57 (2,01) ^a		
(Eaton <i>et al.</i> , 2008)	Irlanda	Zona agrícola			80 ^c	120 ^d	
		Floresta			130 ^c	250 ^d	
		Pastos			100 ^c	160 ^d	
		Zona agrícola complexa			90 ^c	140 ^d	
		Áreas seminaturais sem vegetação (dunas, rochas, praias)			0	0	
		Zona urbana			0	0	
		Massas de água			0	0	
(Muñoz-Rojas <i>et al.</i> , 2011)	Andaluzia		Biomassa Aérea e raízes t ha ⁻¹				

Autores	Localização	Categoria ou espécie	Biomassa acima do solo	Biomassa abaixo do solo	Carbono no solo	Carbono na manta morta
			t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹
		Tecido urbano contínuo	0			
		Tecido urbano descontínuo	3,23			
		Vias	0			
		Áreas urbanas verdes	6,46			
		Terreno agrícola	5			
		Vinhas	21			
		Árvores de Fruto e bagas	21			
		Olivais	21			
		Plantações anuais associadas a plantações permanentes	13			
		Padrões de cultivo complexos	11,52			
		Área inicialmente Agrícola mas com zonas ocupadas por vegetação natural	11,37			
		Áreas agroflorestais	8,22			
		Florestas folha larga	28,24			
		Florestas coníferas	59,48			
		Florestas mistas	40,8			
		Herbáceas naturais	3,4			
		Vegetação esclerofila	17,74			
		Praias, Dunas, Areias	0			
		Rochas	0			
		Zonas de baixa densidade de vegetação	1,52			
		Área ardida	1,52			
		Mar e oceano	0			
		Estuários	0			

Notas: Os valores entre parênteses dizem respeito ao desvio padrão, ^aValores de 0-10 cm de solo, ^bValores de 0-15 cm de solo, ^cValores de 0-30 cm de solo, ^dValores de 0-100 cm de solo, *Valores aproximados, retirados de gráfico.

Primeiramente é relevante referir que não existem estudos específicos sobre os valores dos reservatórios de carbono para a vegetação da Serra da Arrábida nem mesmo estudos mas abrangentes para a zona de Setúbal. O trabalho que irá ser explicado seguidamente é baseado nos estudos existentes com maior aproximação às características do clima mediterrâneo possível.

Analisando os valores compilados, verifica-se que Vogt *et al.*, (1996) apresentam um valor elevado para a floresta mediterrânea folhosa perene, comparativamente com os restantes autores, o que pode ser explicado pelo tipo de solo ou pelo clima existente na área estudada. Também os valores obtidos em Davies *et al.*, (2011) são superiores aos restantes, contudo estes valores são mais exatáveis,

uma vez que, foram obtidos para Inglaterra, onde o clima e os solos são consideravelmente diferentes das zonas mediterrâneas. Os restantes autores apresentam valores na mesma ordem de grandeza por tipo de vegetação ou ocupação do solo.

As zonas onde o solo está coberto por matos, matas e floresta, pelos valores observados na tabela 3.3 e pelas suas características (superfície verde, zonas sem intervenção humana), é expectável que apresentem maior captura de carbono por hectare.

Por sua vez, as zonas de vegetação rasteira, herbáceas e zonas agrícolas permanentes ou de época, captam menores quantidades de carbono por hectare, pois plantações de menor duração temporal, de menor porte, e as raízes e o carbono que se encontra na manta morta normalmente retirados e/ou queimados, o que não favorece o armazenamento de carbono.

Por último, para as zonas onde não existe vegetação (zonas alagadas, zonas urbanizadas, rochas, praias e mar), os autores consultados são unânimes em atribuir zero ao valor de carbono sequestrado, o que é perceptível pois a vegetação capta o carbono através do processo de fotossíntese e, como nestas zonas não existe vegetação, a captura é nula.

Na tabela 3.4 apresentam-se os valores finais de carbono usados na modelação, abaixo da tabela explica-se como foram obtidos.

Tabela 3.4 - Valores finais de carbono em $t\ ha^{-1}$ usados na modelação

Código	Classe	C_aérea	C_raízes	C_solo	C_Mmorta	C_Total
1	Areal_Rochas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Canas	11,52	0,00	140,00	0,00	151,52
3	Edificado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Florestas	42,46	5,29	250,00	0,00	297,75
5	Herbaceas	0,97	1,69	160,00	0,00	162,65
6	Jardins	4,74	1,69	160,00	0,00	166,43
7	Lagos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Matas	38,25	4,41	250,00	0,00	292,67
10	Matos	7,41	7,62	111,60	0,00	126,63
11	Pomar	8,08	1,39	24,74	0,00	34,20
12	Solo Nu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	Vias Alcatroadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Zona Agrícola	4,04	1,55	120,00	0,00	125,59
15	Zona Agrícola Complexa	11,52	0,00	140,00	0,00	151,52
16	Zona Artificializada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	Pedreira	7,41	7,62	111,60	0,00	126,63

C_aérea é o carbono na biomassa aérea, C_raízes o carbono na biomassa abaixo do solo, C_solo o carbono no solo, C_Mmorta o carbono na manta morta e C_total é a soma dos quatro *reservatórios* todos em $t\ ha^{-1}$.

Para a classe Areal_Rochas os cálculos foram efetuados segundo Muñoz-Rojas *et al.* (2011). Os autores indicam que a soma de C_aérea e C_raízes é igual a zero, portanto cada valor independente é igual a zero. O carbono no solo toma-se de acordo com Eaton *et al.* (2008).

Os valores para a classe Canas assumem-se iguais aos da zona agrícola complexa, uma vez que as canas estão associadas a este tipo de ocupação do solo e não foram encontrados valores para este tipo de vegetação na literatura.

C_{aérea} e raízes para a classe Edificado é o apontado por Muñoz-Rojas *et al.* (2011) e Canaveira *et al.* (2013). O valor para C_{solo} é o indicado por Eaton *et al.* (2008).

Uma vez que as florestas delimitadas são florestas predominantemente de coníferas (pinhais mansos plantados) assume-se, para a classe Florestas, a média dos valores associados a estas espécies (Almagro *et al.*, 2010; Canaveira *et al.*, 2013; Nunes *et al.*, 2013).

Quanto à classe herbáceas C_{aérea} os valores são calculados pela média dos valores de vegetação herbácea e pastagens (Davies *et al.*, 2011; Canaveira *et al.*, 2013), e o C_{raízes} calculado usando a fórmula seguinte:

$$C_{raízes_{Herbáceas}} = \frac{C_{raízes_{Canaveira et al., 2013}} + (C_{aérea+raízes de Muñoz de Rojas et al., 2011} - C_{aérea_{Herbáceas}})}{2}$$

O valor para o carbono no solo para as herbáceas é estimado por Eaton *et al.* (2008).

Para a classe Jardins C_{raízes} e C_{solo} são considerados iguais aos valores da classe Herbáceas, uma vez que não foram encontrados resultados na revisão bibliográfica e os resultados do estudo de Davies *et al.* (2011) indicam que a diferença do carbono armazenado nas herbáceas e jardins domésticos não é significativa, podendo este valor ser eventualmente maior se existirem árvores ou vegetação mais alta nesses jardins. C_{aérea} é calculado então pela fórmula:

$$C_{aérea_{Jardins}} = [C_{aérea_{Davies et al., 2011}} + (C_{aérea+raízes tecido do urbano descontínuo de Muñoz de Rojas et al., 2011} - C_{raízes_{Jardins}}) + (C_{aérea+raízes áreas urbanas verdes de Muñoz de Rojas et al., 2011} - C_{raízes_{Jardins}})]/3$$

Para as classes Mar e Lago os valores são assumidos igual a zero (Eaton *et al.*, 2008; Muñoz-Rojas *et al.*, 2011; Canaveira *et al.*, 2013).

Na classe Matas calculou-se a média de todos os valores encontrados para florestas mistas ou de grande densidade (Eaton *et al.*, 2008; Boix-Fayos *et al.*, 2009; Almagro *et al.*, 2010; Canaveira *et al.*, 2013; Nunes *et al.*, 2013) isto porque na literatura não foram encontrados valores específicos para matas.

Para os Matos o cálculo foi efetuado pela média da vegetação esclerófila, matos, matos altos, espécies específicas de matos mediterrâneos (Almagro *et al.*, 2010; Davies *et al.*, 2011; Simões *et al.*, 2012; Canaveira *et al.*, 2013; Ruiz-Peinado *et al.*, 2013). Os valores utilizados para o C_{solo} foram calculados segundo Nieto *et al.* (2012), uma vez que os restantes valores encontrados para este *pool* são valores para profundidade de solo menores.

Uma vez que a classe Pomar inclui olival e árvores de fruto, considerou-se a média dos valores correspondentes (Almagro *et al.*, 2010; Nieto *et al.*, 2012; Canaveira *et al.*, 2013).

Os valores para a classe Solo nu assumem-se iguais aos da classe Areal_rochas, uma vez que as suas características e presença de vegetação são semelhantes.

Quanto à classe Vias Alcatroadas utilizou-se os valores fornecidos pelos autores Muñoz-Rojas *et al.* (2011).

Para a classe Zonas agrícolas, calculou-se a média de todos os valores de zonas agrícolas de sequeiro, zona agrícola e vinhas (Eaton *et al.*, 2008; Boix-Fayos *et al.*, 2009; Canaveira *et al.*, 2013). O C_{aérea} da classe Zona agrícola complexa é igual ao valor indicado pelos autores Muñoz-Rojas *et al.* (2011), tomando-se o valor de biomassa das raízes igual a zero uma vez que o valor indicado para o carbono da biomassa aérea já inclui este valor. Quanto ao valor do C_{solo} toma-se igual ao da classe Zona agrícola

Uma vez que a classe Zona artificializada está bastante associada ao edificado assumem-se os valores dessa classe, apesar de, por vezes, se encontrar vegetação entre as pedras da calçada, subestimando-se assim o valor do carbono sequestrado por esta classe.

Na pedreira da Secil foram plantadas espécies autóctones de matos esclerófilos, assim assume-se para o ano de 2010 os valores para Matos, pois esta está em recuperação aparentando ter matos baixos, como se pode observar na figura 3.3.

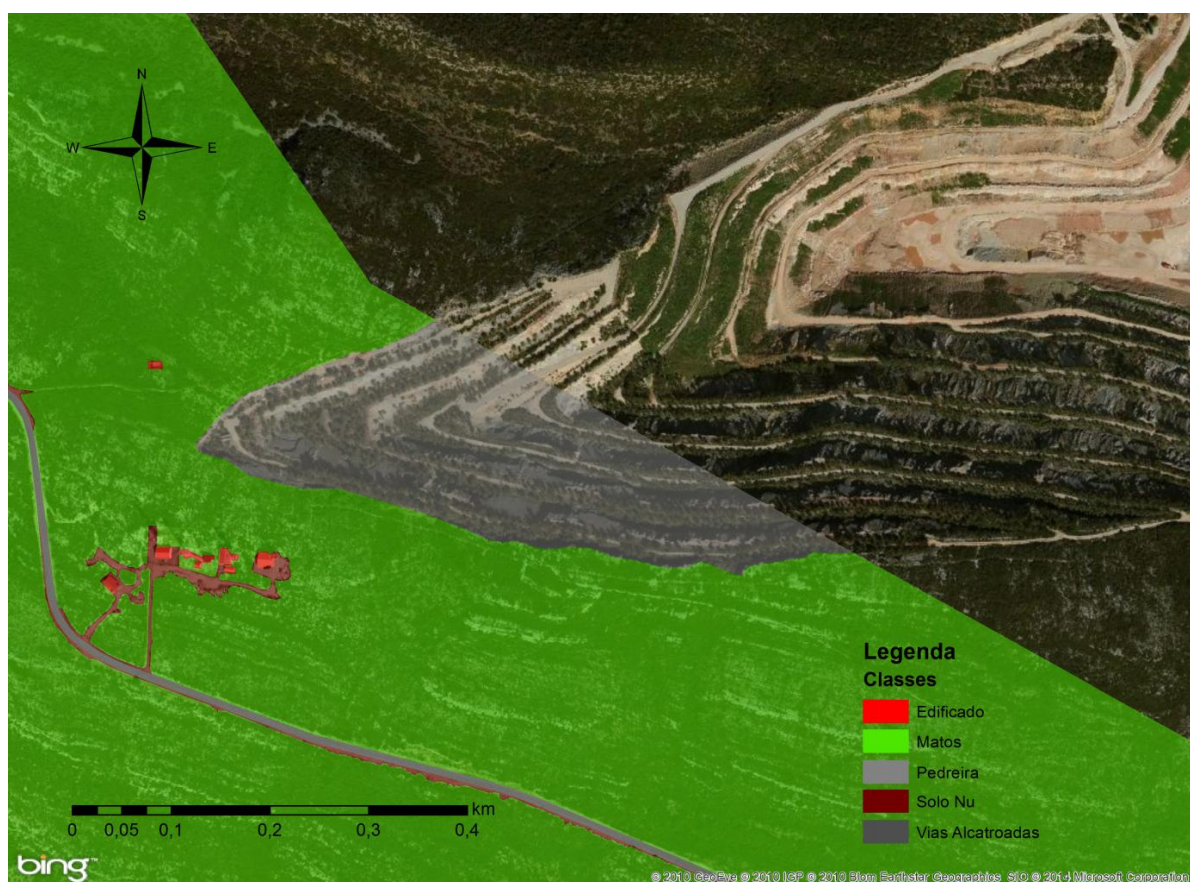


Figura 3.3 - Pormenor da pedreira da Secil (Fonte: Bing Maps)

A pedreira é um caso que será interessante estudar em pormenor uma vez que seria uma área que sem recuperação não armazenaria carbono e seria relevante constatar a sua contribuição nesse aspeto.

Como não foram encontrados valores para o carbono da manta morta em ecossistemas mediterrâneos, para a maioria das classes definidas foi assumido o valor de zero. De notar que esta assunção irá subestimar o resultado do valor de carbono sequestrado modelado.

O gráfico da figura 3.4 permite sublinhar o facto de que a classe Florestas é a que contribui com mais carbono armazenado nos *reservatórios*, seguida da classe Matas, Jardins, Herbáceas, Zona Agrícola Complexa e Canas, Matos e Pedreira, Zona Agrícola, Pomar e as restantes classes contribuem zero.

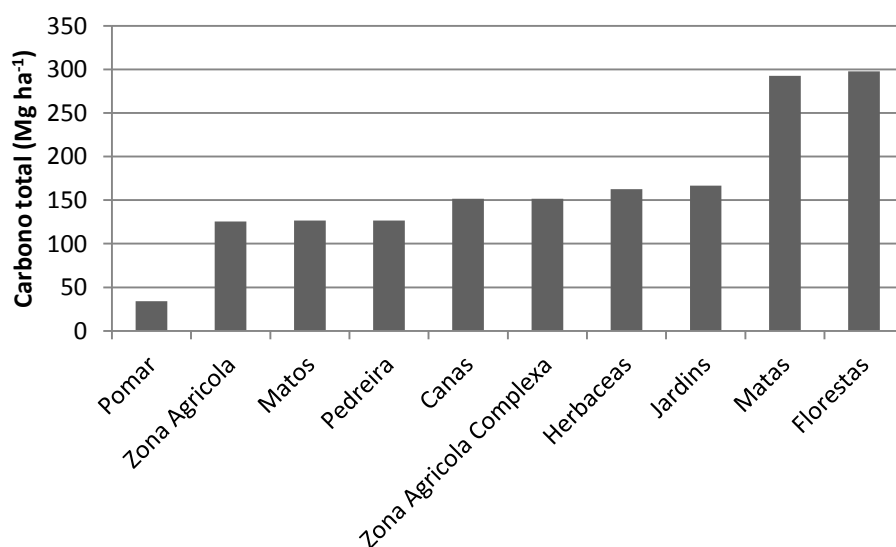


Figura 3.4 - Total dos reservatórios de carbono por classes em t ha⁻¹

Por fim, com os mapas de uso do solo e reservatórios de carbono definidos, correu-se o modelo.

4. Resultados

4.1 Análise temporal com base nas fotografias aéreas

Os resultados da fotointerpretação podem ser visualizados em três *mapas* para cada ano em estudo. As figura 4.1, figura 4.2 e figura 4.3 representam a ocupação do solo para o ano de 1967, 1978 e 2010 respectivamente.

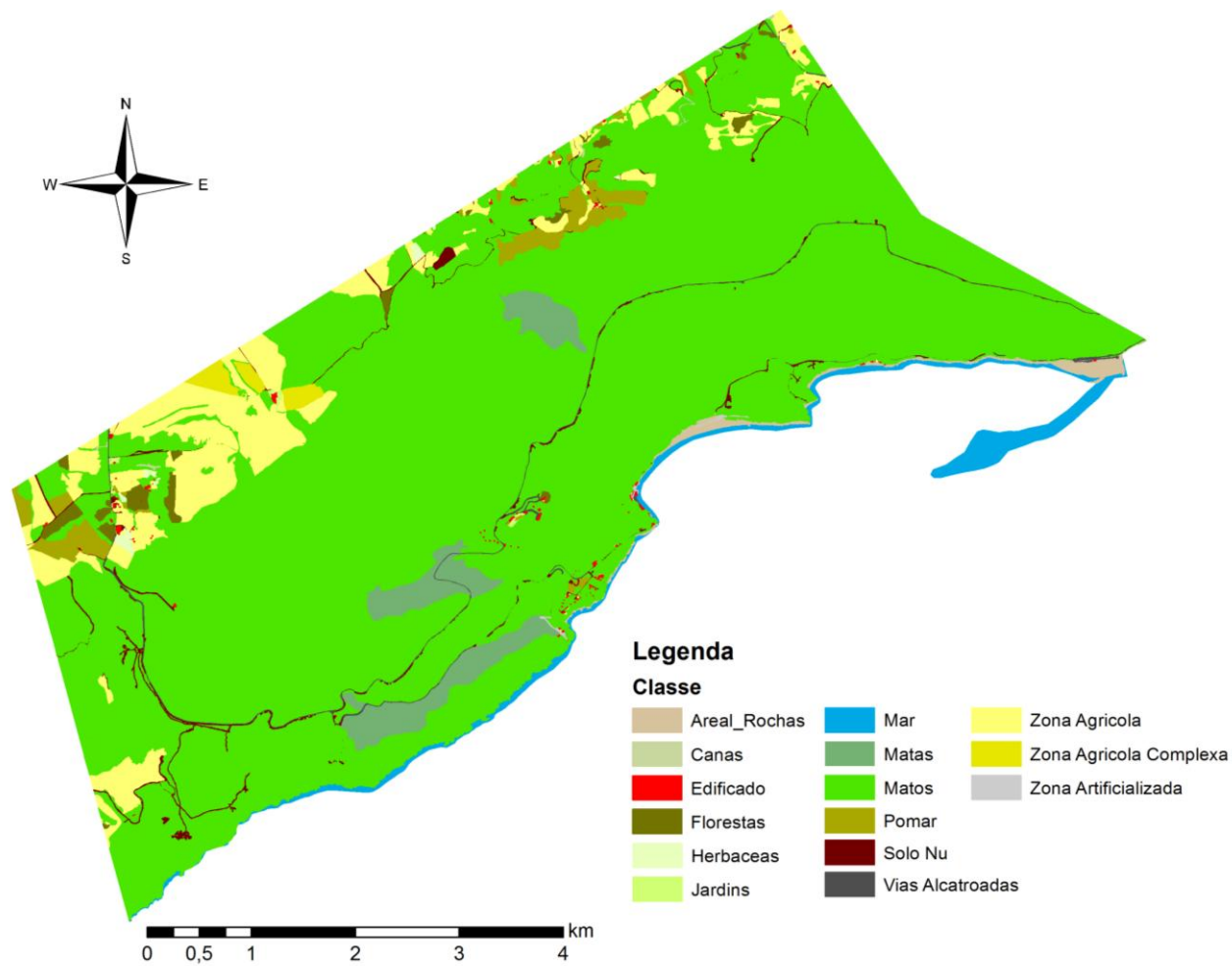


Figura 4.1 – Ocupação do solo no ano de 1967

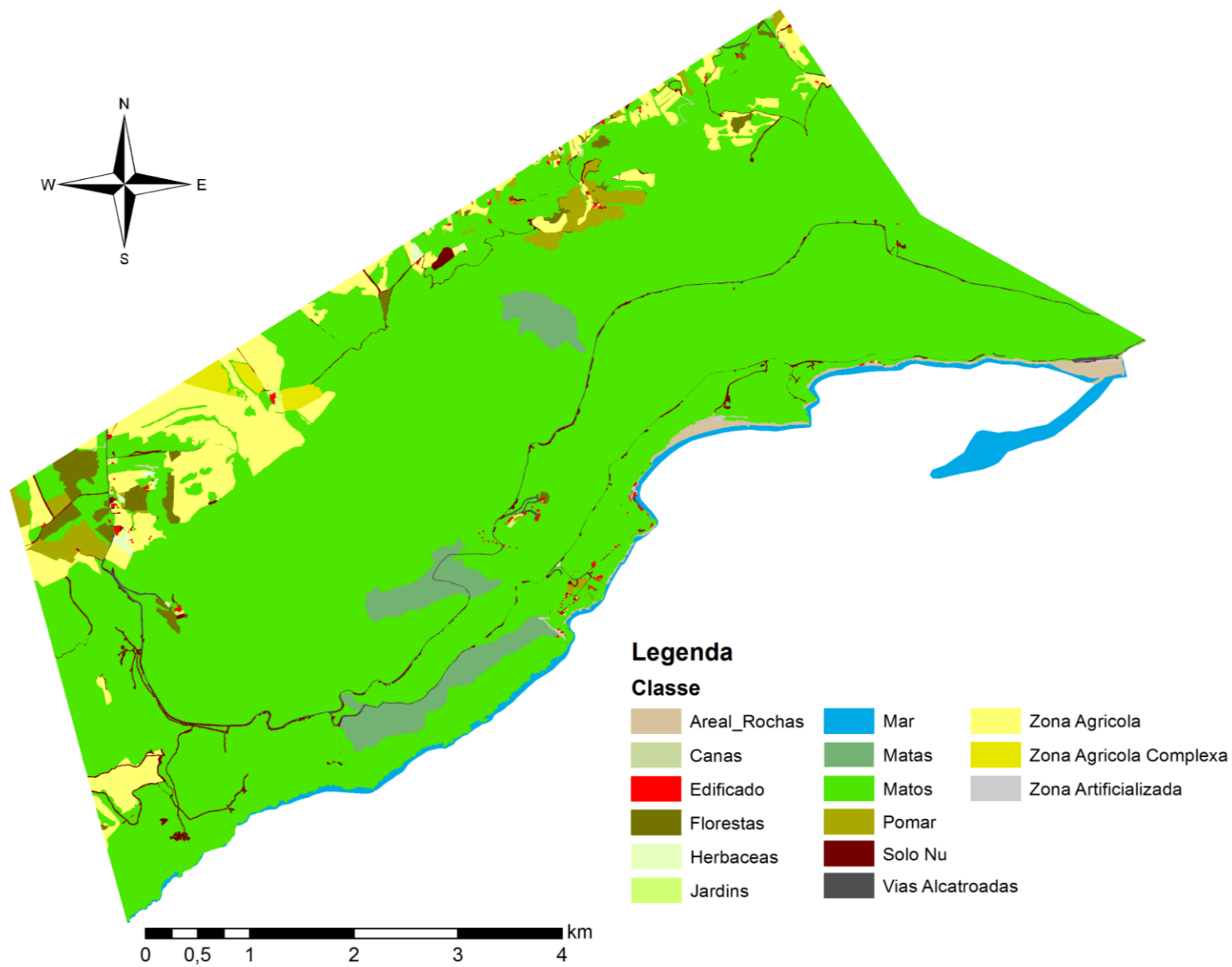


Figura 4.2 – Ocupação do solo no ano de 1978

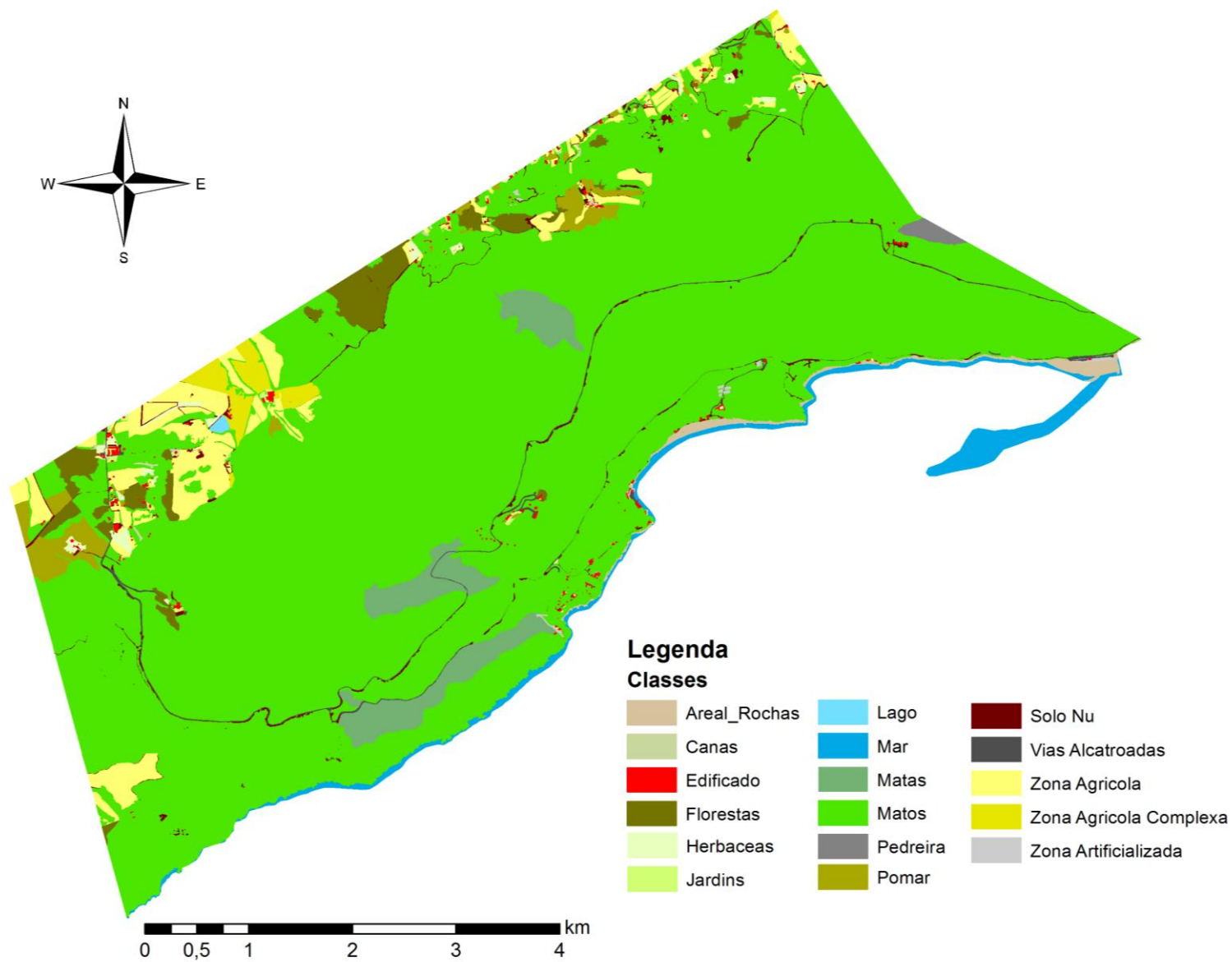


Figura 4.3 – Ocupação do solo no ano de 2010

Comparando dos mapas de ocupação do solo do ano de 1967 e 1978 é possível observar pequenas diferenças nas zonas agrícolas, e a estrada do portinho da arrábida sofreu um prolongamento e foi alcatroada para o lado Este. Comparando os anos de 1978 e 2010 verifica-se um aumento das construções localizadas mais a noroeste da área de estudo, verifica-se também a alteração dos usos no que diz respeito às zonas agrícolas e floresta, em 1967 e 1978 existiam pequenas vias de terra batida, na zona mais a sudoeste da área de estudo, que deixaram de existir nos mapas de 2010.

A análise das figuras de ocupação do solo e gráficos das figura 4.4Figura 4.5 Figura 4.6, permitem constatar que aproximadamente 82 % da área de estudo é ocupada por matos. É possível observar no gráfico da figura 4.5 que a zona agrícola é a segunda classe com maior representatividade, sendo no entanto consideravelmente inferior à classe dos matos (em 1967 7,2 %, em 1978 6,8 %, e 4,4 % em 2010), seguidamente a classe matas representa 3,3 % da área de estudo.

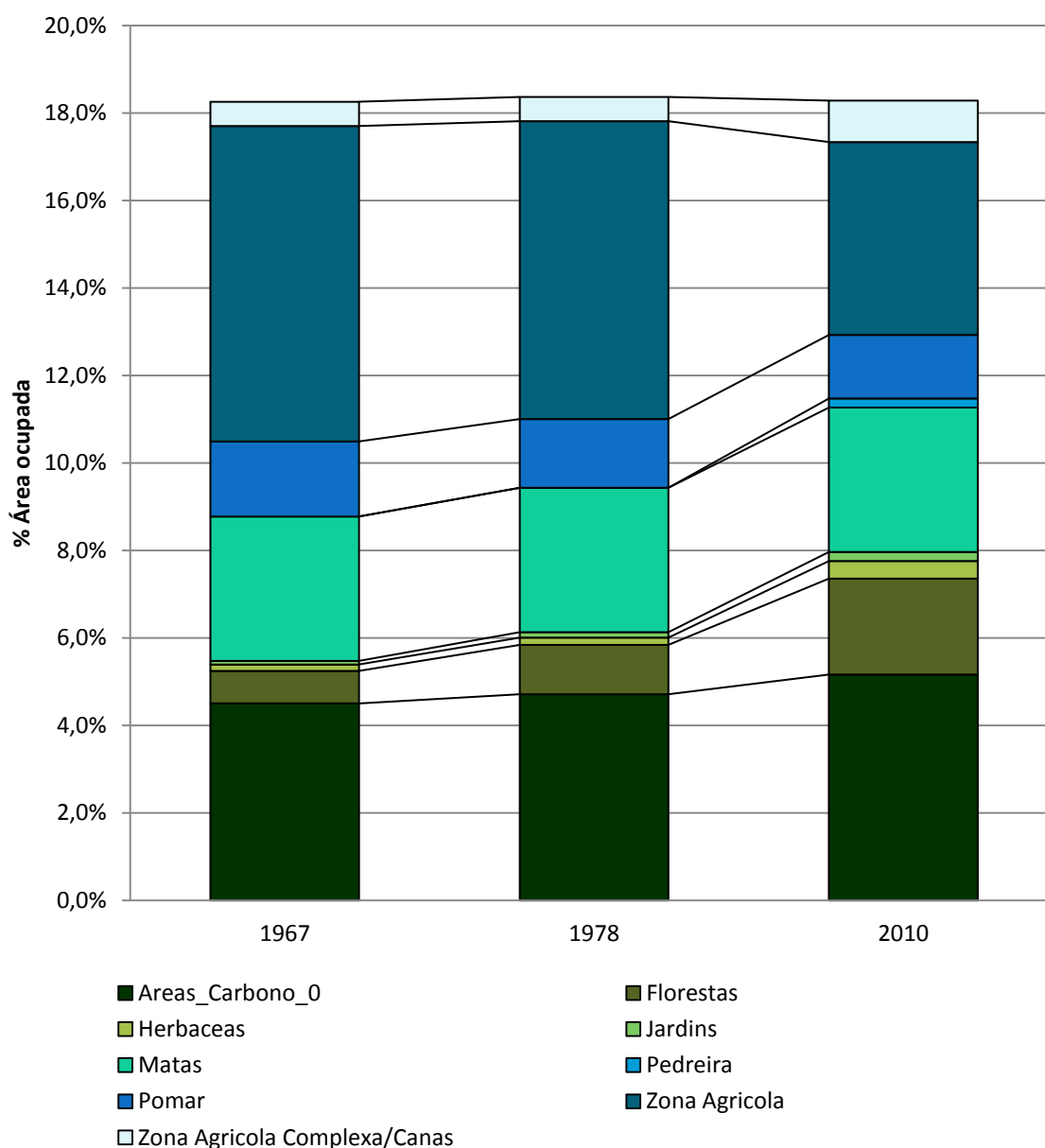


Figura 4.4 - Evolução da percentagem de área ocupada por tipo de ocupação de solo exceto matos.

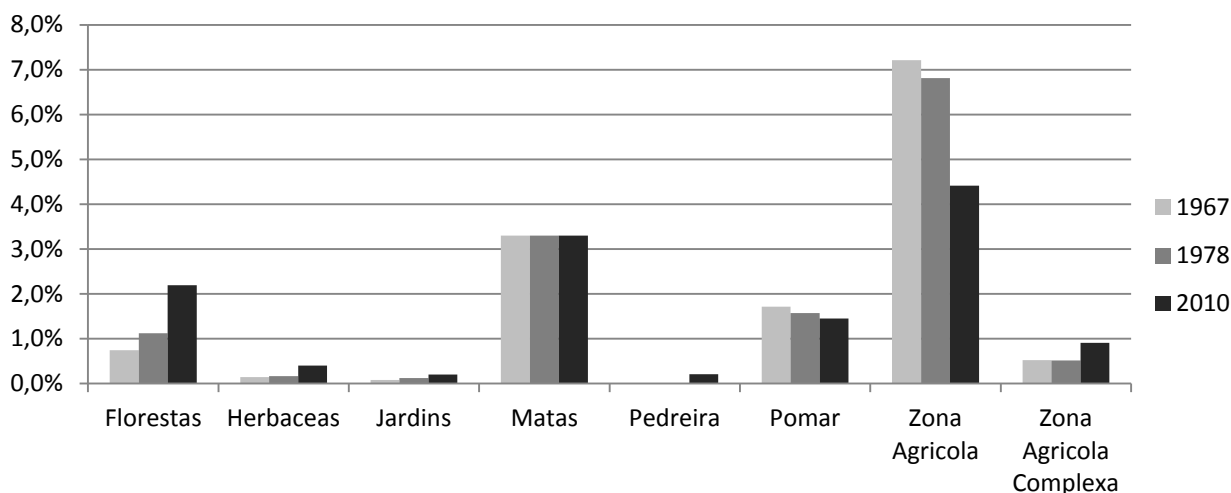


Figura 4.5 - Evolução da percentagem de área ocupada por tipo de ocupação de solo de interesse para o estudo do armazenamento e sequestro do carbono.

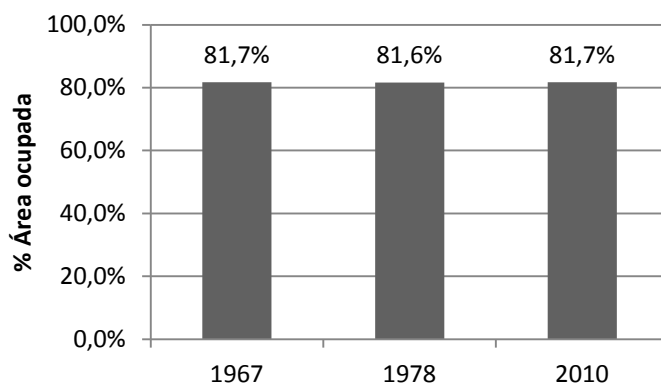


Figura 4.6 - Evolução da percentagem de área ocupada por Matos.

Numa avaliação temporal é possível verificar um aumento de 1,5 % da área de florestas e uma diminuição de 2,8 % da área agrícola entre o ano de 1967 para 2010. Constata-se ainda que a área correspondente às classes Mar e Matas se manteve constante.

Verifica-se um aumento, ao longo do tempo, das classes associadas às atividades antropogénicas, ou seja, edificado, jardins, vias alcatroadas e zona artificializada, que aumentam numa tendência aproximadamente semelhante entre elas. A classe solo nu também aumentou, a pedreira surge apenas nas imagens de 2010, assim como o lago. Quanto à área de pomar reduziu ao longo do tempo.

Constata-se (figura 4.6) que a área de matos teve pequenas oscilações ao longo do tempo, diminuindo menos de 0,1 %.

De forma a avaliar de um modo mais claro quais as transições entre classes, foram realizadas as intersecções entre os mapas dos vários anos. Os resultados com maior representatividade estão apresentados na tabela 4.1, e dizem respeito as diferenças entre o ano 1967 e 2010.

Tabela 4.1 - Resultado das interseções do ano 1967 com 2010

Classes 1967 → classes 2010	Área convertida (ha)	% Área total ocupada
Zona Agrícola → Matos	31,62	1,4 %
Matos → Florestas	20,30	0,9 %
Zona Agrícola → Florestas	13,82	0,6 %
Pomar → Matos	9,37	0,4 %
Zona Agrícola → Pomar	9,18	0,4 %
Zona Agrícola → Zona Agrícola Complexa	7,94	0,3 %
Matos → Zona Agrícola	5,02	0,2 %
Matos → Pedreira	4,77	0,2 %
Zona Agrícola → Solo Nu	3,94	0,2 %
Pomar → Zona Agrícola	3,91	0,2 %
Zona Agrícola → Herbáceas	2,85	0,1 %
Matos → Vias Alcatroadas	2,69	0,1 %
Solo Nu → Matos	2,51	0,1 %
Matos → Herbáceas	2,12	0,1 %
Matos → Edificado	2,11	0,1 %
Matos → Jardins	1,84	0,1 %

É possível constatar pela análise da tabela 4.1 que a classe que tem maior área alterada é a classe Zona Agrícola. Pode verificar-se também que aproximadamente 1,4 % da área total que era inicialmente área agrícola alterou a ocupação do solo para Matos, que cerca de 1 % da área total que era inicialmente Matos, passou a ser ocupada por Florestas. Ainda se constata a alteração da ocupação área agrícola para florestas de aproximadamente 0,6 % da área total.

Verifica-se que 0,4 % da área total agrícola no ano de 1967 passou para Pomar, outros 0,4 % foram convertidos para zona agrícola complexa, 0,2 % passou para solo nu e 0,1 % passou a ser ocupado por herbáceas representando, ainda assim, uma alteração de ocupação de aproximadamente 3 ha.

Pode-se observar que aproximadamente 0,3 %, da área total dos matos foram convertidos nas classes que dizem respeito às atividades antropogénicas, ou seja, vias alcatroadas, edificado e jardins. Constata-se também que 0,2 % foram convertidos em zona agrícola, 0,1 % em herbáceas e que 0,2 % da área total foi ocupada pela exploração da pedreira da Secil, que em 2010 já estaria em recuperação com a implementação dos Projetos de Recuperação Paisagística promovidos pela fábrica. O objetivo destes projetos é a introdução de espécies autóctones de forma à que vegetação implementada na pedreira se aproxime da vegetação presente na serra.

Aproximadamente 0,1 % do solo nu terá sido convertido, passando a matos e quanto à classe pomar cerca de 0,2 % da área total foi convertida em zona agrícola.

4.2 Armazenamento do carbono modelado no InVEST

Os resultados da modelação da quantidade de Carbono apresentam-se nos mapas das figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9, correspondendo aos anos 1967, 1978 e 2010 respetivamente.

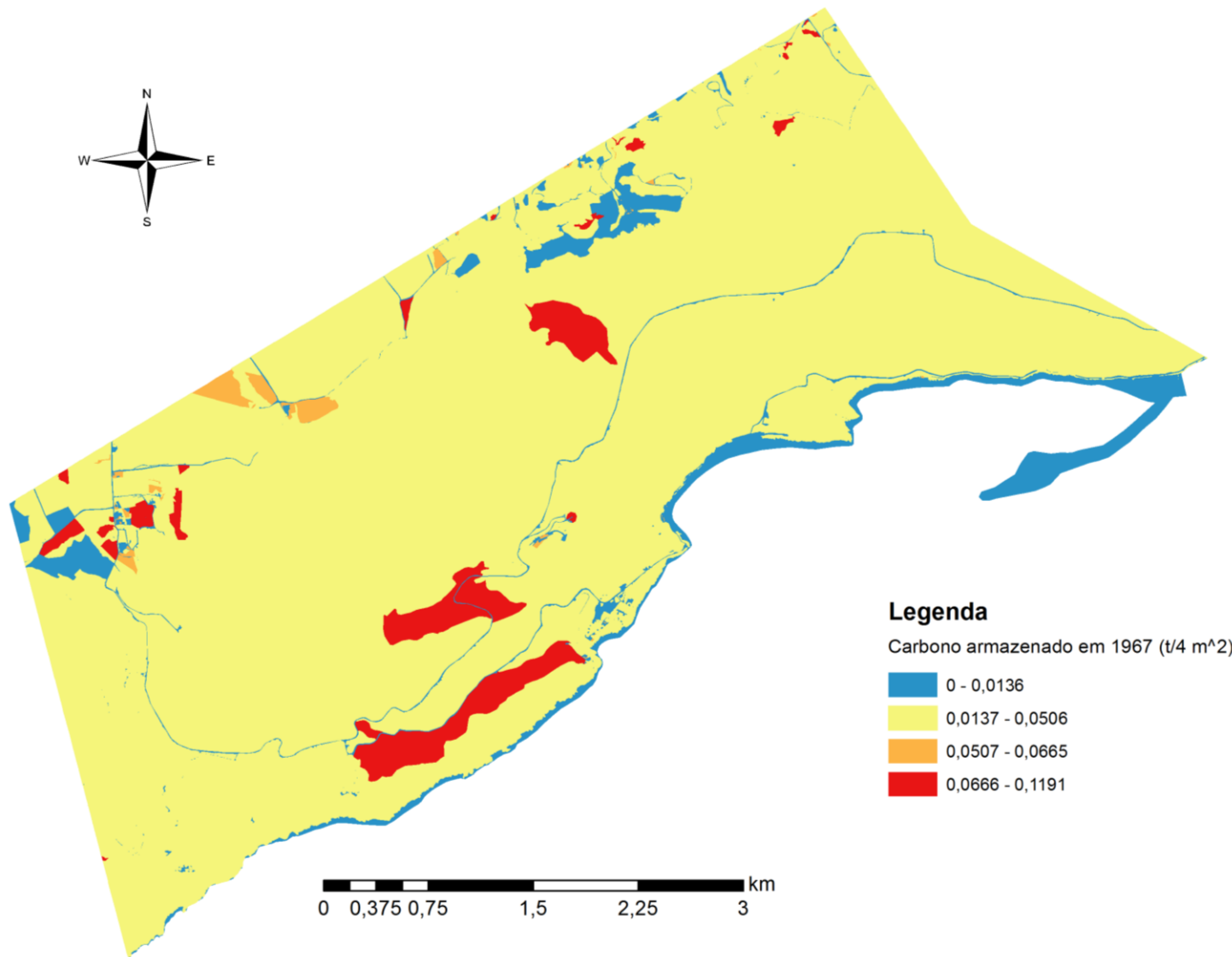


Figura 4.7 - Carbono armazenado no ano 1967

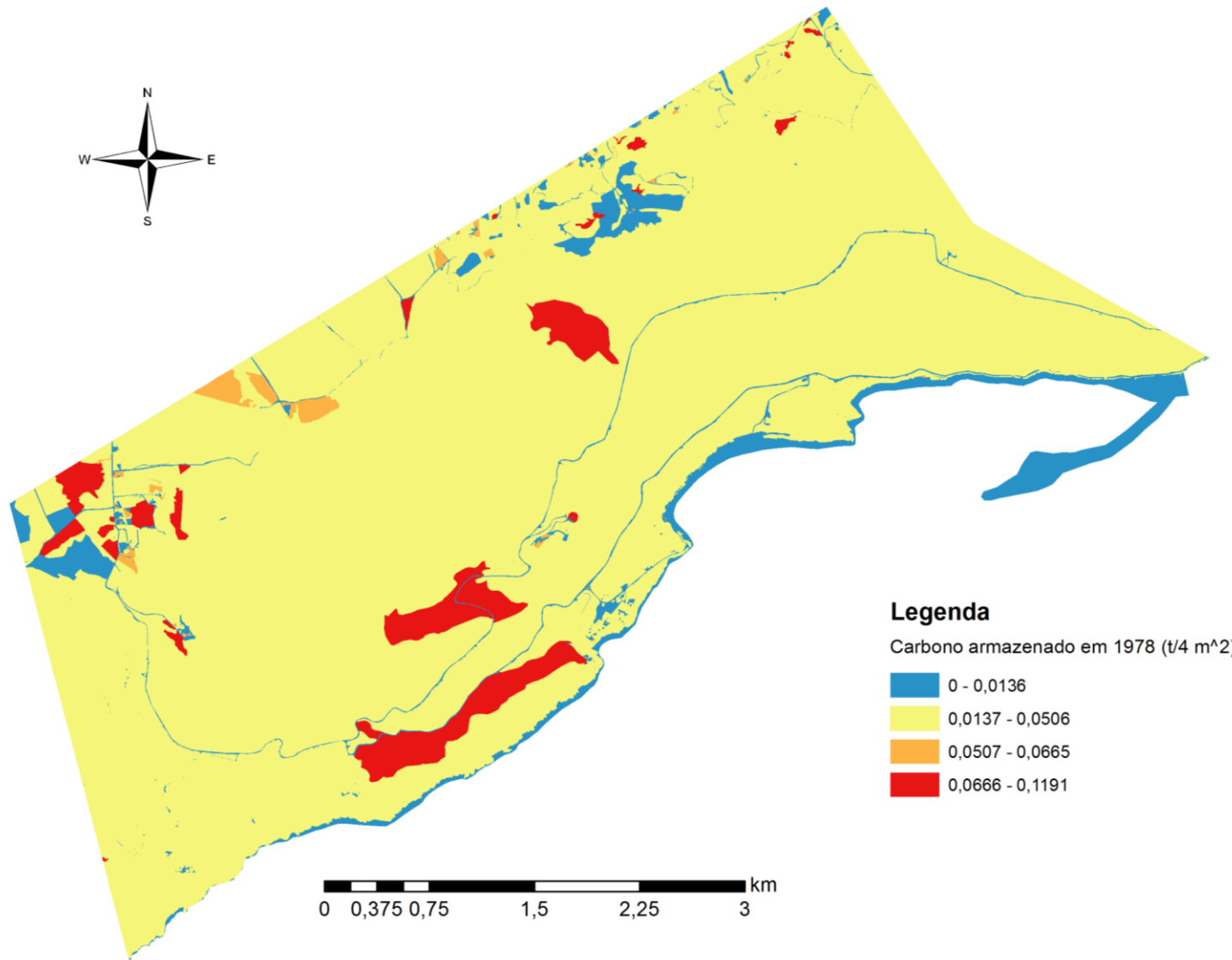


Figura 4.8 - Carbono armazenado no ano 1978

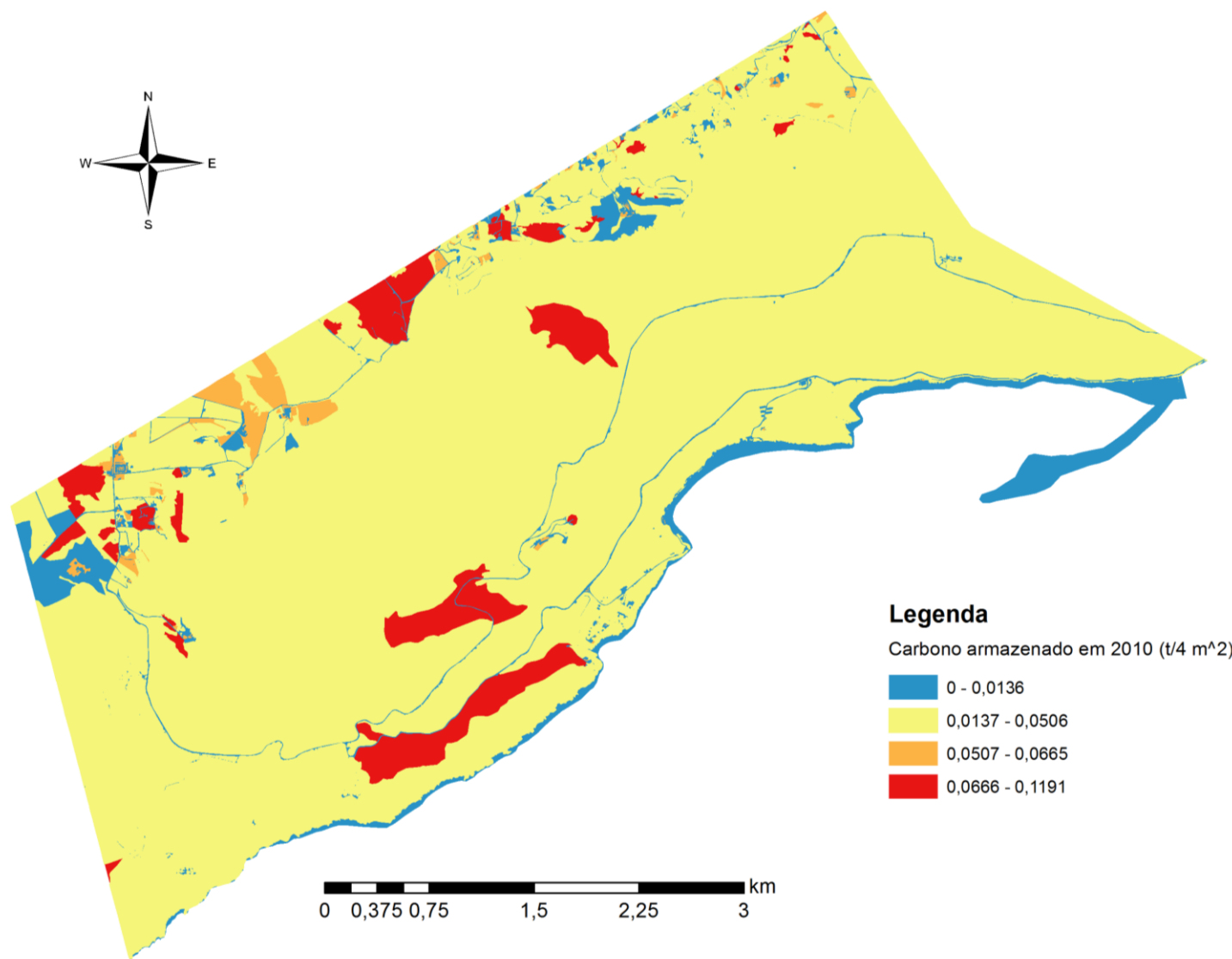


Figura 4.9 - Carbono armazenado no ano 2010

A legenda destes mapas foi construída baseada nas quantidades de carbono armazenadas por classe ou seja segundo a tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Carbono armazenado por classe de ocupação

Classe	Carbono armazenado (t 4m⁻²)
Outras	0,0000
Pomar	0,0136
Zona agrícola	0,0502
Matos/Pedreira	0,0506
Zona agrícola complexa/Canas	0,0606
Herbaceas	0,0650
Jardins	0,0665
Matas	0,1170
Floresta	0,1191

Comparando as figuras acima com os mapas de ocupação do solo é possível constatar que as zonas agrícolas, tal como os matos se inserem na classe de valores médios de armazenamento de carbono, a amarelo. Esta classe de valores de carbono aparece na maioria da área de estudo. As zonas agrícolas complexas coincidem com os valores médios altos.

Destacam-se a vermelho as zonas que armazenam as maiores quantidades de carbono correspondem às matas do Vidal, Coberta e Solitário e às zonas onde se encontram as áreas florestais.

O mar, zonas edificadas, artificializadas, vias, solo nu encontram-se na classe de valores inferiores de carbono armazenado, a azul.

As diferenças na quantidade de carbono entre os anos em estudo (1967, 1978 e 2010), coincidem com as áreas onde houve alterações do uso do solo, como seria de esperar. Nota-se essencialmente na zona mais a norte onde é possível constatar as alterações da ocupação do solo, principalmente, no que diz respeito à conversão de zona agrícola e matos em florestas.

Entre os anos de 1967 e 1978 estas diferenças conseguem-se visualizar a norte da área de estudo, uma área de pomar que terá sido convertida em zona agrícola.

De 1978 para 2010 as diferenças consistem num aumento do carbono armazenado coincidente com a área de floresta que aumentou também, nota-se uma alteração da cor amarela (valores médios de armazenamento) para azul (valores baixos de armazenamento) em zonas que pertenciam à classe agrícola e passaram para pomar.

Verifica-se um aumento do carbono armazenado junto às praias que coincide com a recuperação de zonas de solo nu com vegetação arbustiva. Há também um aumento das zonas agrícolas, que aparentam ser de monocultura para zonas agrícolas complexas.

Com o objetivo de compreender as diferenças entre os anos em estudo de como e quais classes contribuíram para o carbono total armazenado construiu-se o gráfico da figura 4.10 que mostra a evolução ao longo do tempo do carbono armazenado nas classes de ocupação do solo, no anexo II estão os dados usados para construção deste gráfico.

Com a observação da figura 4.10 confirma-se que de facto os matos contribuíram grandemente mas de forma aproximadamente constante para o armazenamento de carbono, constata-se que também as matas mantiveram o seu contributo constante, e que a classe floresta ao longo do tempo contribuiu cada vez mais, sendo que a zona agrícola e restantes contribuíram inversamente.

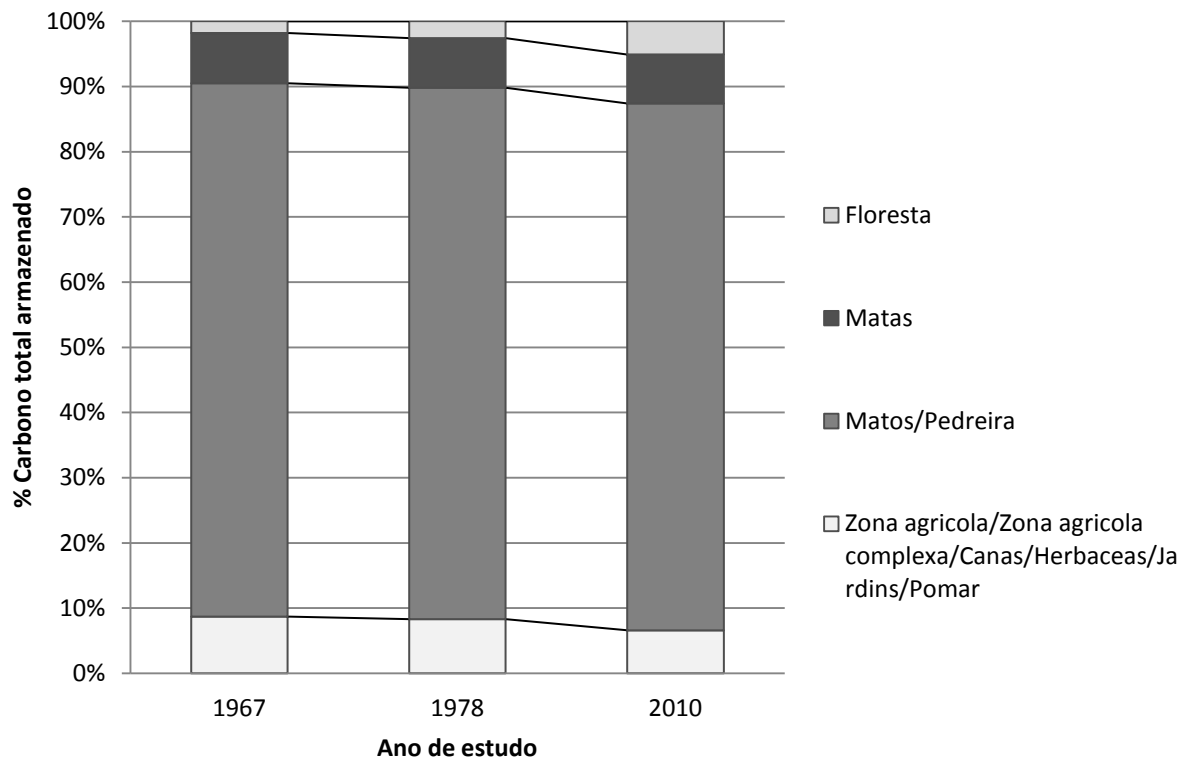


Figura 4.10 - Percentagem de carbono armazenado por tipo de ocupação nos anos de estudo (1967, 1978 e 2010)

Na figura 4.11, são apresentados os resultados do cálculo do carbono total armazenado na área de estudo, para os três anos analisados.

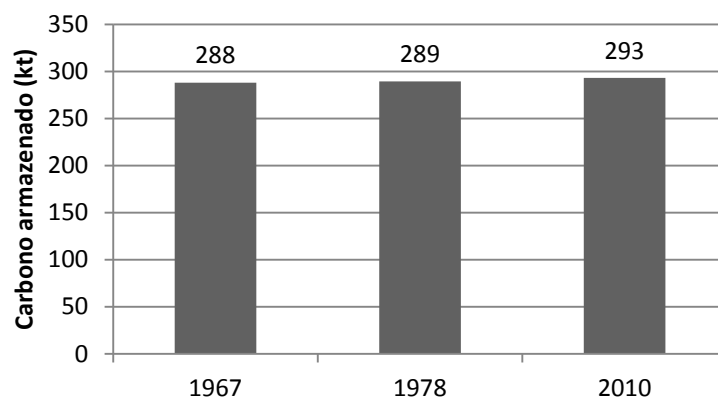


Figura 4.11 - Carbono armazenado (kt) nos anos de 1967, 1978, 2010

Na figura 4.12 apresentam-se os valores de carbono das diferenças dos anos 1967-1978 e 1978-2010, ou seja do carbono sequestrado entre os pares de anos.

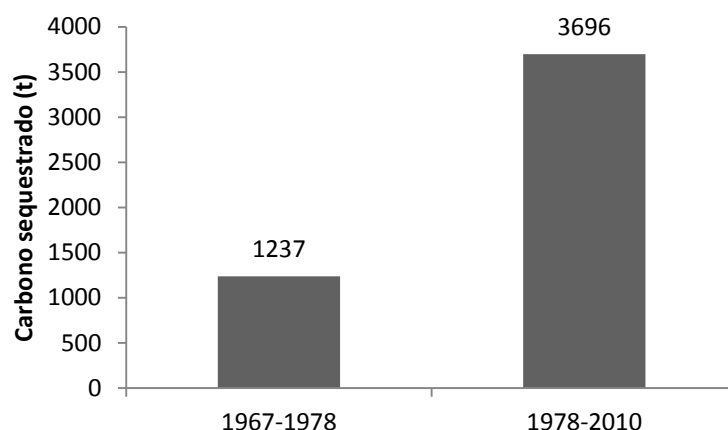


Figura 4.12 - Carbono sequestrado (t) entre os anos de 1967-1978 e 1978-2010

Constata-se um aumento do carbono armazenado ao longo do tempo sendo que há um aumento de aproximadamente 1237 t de carbono do ano de 1967 para 1978 e um aumento de aproximadamente 3696 t do ano de 1978 para 2010, mas deve-se ter em conta que de 1967 para 1978 são 11 anos e de 1978 para 2010 são 32 anos de diferença.

A média do carbono sequestrado por ano é então aproximadamente 112 t C ano^{-1} entre os anos de 1967 e 1978 e de 115 t C ano^{-1} entre os anos 1978 e 2010.

Posteriormente calculou-se o valor da quantidade de carbono armazenada a partir do valor de mercado Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). Constatou-se que a média desse valor para o ano de 2010, de acordo com a Bolsa SENDECO₂ (2014) cujos valores diários estão indicados no anexo III, é de $14,32 \text{ € t}^{-1}$ o que dá um resultado de aproximadamente 4 Milhões de € de carbono armazenado na área total.

5. Discussão de resultados

Quando à análise da ocupação do solo, constata-se que a classe Matas se manteve constante ao longo do tempo. Trata-se de zonas com estatuto de proteção total e visivelmente a proteção foi eficiente.

As florestas que foram delimitadas na zona de estudo são predominantemente florestas de pinheiros mansos, isso pode ser constatado com a observação das imagens de satélite que deram origem à vectorização do ano de 2010, estas sugerem que terão sido plantadas. Este facto justifica em parte as maiores diferenças que se conseguem observar nas imagens da ocupação do solo, ou seja, as zonas que aparentavam ser zonas agrícolas nos anos de 1967 e 1978 poderiam ser plantações de pinheiros que ainda estariam de um tamanho reduzido, não se conseguindo distinguir com segurança das zonas agrícolas.

As estradas de terra batida que não se conseguem observar nos mapas do ano de 2010 e que estão delimitadas no ano de 1978, pensa-se estarem associadas a acessos a zonas agrícolas que terão recuperado naturalmente devido à não utilização pelo abandono agrícola desses terrenos, ou então devido ao aumento do tamanho da vegetação, as copas poderão estar a cobrir esses acessos, não sendo possível a sua observação apesar de esses continuarem no local.

De 1967 para 2010 houve um decréscimo de 2,8 % da área agrícola o que deverá estar relacionado com o abandono agrícola, que se fez sentir nos anos 60 e 70, devido à deslocação das populações para zonas mais urbanas. Constata-se, que aproximadamente 1,4% dessa área foi convertida em matos e aproximadamente 0,1% para herbáceas. A restante área foi convertida em outros usos agrícolas (pomares e zonas agrícolas complexas).

As classes associadas às atividades antropogénicas crescem de forma semelhante, ou seja, aproximadamente 0,1% para cada classe em cada ano de estudo, o que é expectável, pois se há construção de edifícios haverá também um aumento das vias e acessos, e jardins.

Quanto aos matos, na avaliação das áreas, não são visíveis alterações significativas, no entanto, quando é feita a análise das interseções dos mapas de ocupação do solo, consegue-se confirmar que houve bastantes modificações, são estas a construção de edifícios, jardins e vias. O que compensa estas alterações são algumas conversões das zonas agrícolas, referidas anteriormente, e solo a nu para matos.

Relativamente à modelação do carbono há que ter em conta várias situações, é necessário esclarecer e enfatizar que todos os valores apresentados de armazenamento e sequestro de carbono representam apenas ordens de grandeza e não valores absolutos devido a todos os erros associados, tanto no processo de vectorização das fotografias aéreas como também nos valores de carbono utilizados.

No que diz respeito aos mapas de armazenamento de carbono, a baixa quantidade de carbono armazenado que se verifica na classe pomar não seria previsível à partida, principalmente comparando com a classe zona agrícola. Constata-se que o valor de carbono no solo utilizado, para a

modelação desta, corresponde a um valor baixo, no entanto o valor utilizado diz respeito a uma altura de solo inferior à maioria das classes, mais concretamente à zona agrícola. Para avaliar esta questão de forma mais precisa, comparou-se então com os valores de carbono do solo, da revisão bibliográfica, para alturas de solo idênticas, ou seja para alturas de solo de 0-30cm o valor de carbono no solo para a classe Zona Agrícola é de aproximadamente 80 t ha⁻¹ (Eaton *et al.*, 2008) e para o pomar é de aproximadamente 22 t ha⁻¹ (Nieto *et al.*, 2012).

As quantidades de carbono indicadas sugerem que, a quantidade de carbono armazenado não estará só relacionada com o facto das comparações entre diferentes alturas do solo mas também poderá haver outras questões que impliquem esse valor mais baixo, por exemplo, as zonas de pomar/olivais são zonas onde a colheita pode ser intensiva, o que acontece é que os solos são totalmente arados e limpos impedindo a presença de outras espécies e mesmo da manta morta, não permitindo aos microrganismos fixar o carbono no solo estudos como o de Nieto *et al.* (2012), indicam que o carbono orgânico no solo aumenta se forem utilizadas culturas entre as árvores do pomar. Pelo facto do carbono no solo ser um dos *reservatórios* que tem maior quantidade de carbono armazenada, este tem grande importância no cálculo do carbono total armazenado, notando-se assim as diferenças apresentadas.

Comparando as classes de zona agrícola e zona agrícola complexa, é possível constatar que esta última armazena mais carbono. Tal como explicado anteriormente, as zonas agrícolas são zonas que geralmente são de monocultura, tudo o que não é ocupado pela cultura é arado e limpo, para outras espécies não interferirem com o crescimento da mesma. Já as zonas agrícolas complexas são zonas que têm mais do que uma utilização, na área de estudo, geralmente apresentam árvores como o carvalho ou as oliveiras mas o solo restante é aproveitado para semear pasto para o gado, por exemplo, deste modo existem mais raízes no solo e mais biomassa aérea, fixando também mais carbono no solo, Kirby & Potvin (2007), chegaram a conclusões semelhantes, indicando que os sistemas agroflorestais (zonas agrícolas com mais do que um tipo de uso agrícola) são não só benéficos ao nível do carbono armazenado, a longo prazo, mas também no que diz respeito à biodiversidade do local.

Estudos como os de Fonseca *et al.* (2012) e Gratani *et al.* (2013) concluem que os matos mediterrâneos removem quantidades significativas de carbono da atmosfera, indicam também que se deveria dar mais atenção a este tipo de espécies. Os resultados da avaliação da ocupação do solo na área de estudo indicam que a classe Matos ocupa aproximadamente 82 % dessa, só este facto verifica a potencialidade da serra como sumidouro de CO₂. Constata-se ainda que esta área tinha armazenado 82 % do carbono total nos anos de 1967 e 1978, e em 2010 tinha armazenado aproximadamente 81 % do carbono total armazenado, estas não são diferenças significativas tratando-se de valores indicativos. Ou seja, esta classe tem uma grande importância no armazenamento e sequestro do carbono na serra da Arrábida.

É necessário enfatizar o facto de que seria relevante apurar as diferenças entre matos rasos e matos altos uma vez que durante a sua regeneração e crescimento estes sequestram carbono adicional, ou seja, a cada um deles correspondem valores de carbono armazenado e sequestrado diferentes. Este

modelo é um modelo simples e expedito no entanto não é possível aferir a diferença entre matos rasos e matos altos, principalmente nos anos mais antigos, cujas fotografias não permitem definir claramente as classes.

As matas, no POPNA classificadas como áreas de proteção total, armazenam aproximadamente 8 % do carbono total armazenado na área estudada, o que é uma quantidade considerável, estas, a seguir às florestas, têm o valor mais elevado na soma da quantidade de carbono por área dos *reservatórios*, e demonstram ser muito relevantes para o armazenamento e sequestro do carbono. Esta constatação é expectável, ainda assim é necessário ter em conta, uma vez que as matas são zonas que quase não têm perturbação humana, permanecendo o mais natural possível e tendo muita vegetação densa, que a componente da manta morta será bastante relevante, aumentando consideravelmente o valor de carbono armazenado, devido à não interferência antrópica.

Quanto as florestas, estas terão armazenado aproximadamente 2 % do carbono total no ano de 1967, 3 % no ano de 1978 e aproximadamente 5 % do carbono total no ano de 2010. O que é esperado uma vez que a área de floresta também aumentou ao longo do tempo. É importante referir que a maioria das florestas delimitadas na vectorização das fotografias e imagens de satélite aparentam ser florestas plantadas e o valor do carbono não está definido claramente para este tipo de florestas, os autores consultados apenas referem valores que correspondem a florestas de uma determinada espécie.

As zonas agrícolas são as classes que armazenam mais carbono na área de estudo a seguir às referidas anteriormente. No ano de 1967 aproximadamente 7 % do carbono total armazenado, tal como no ano de 1978 e em 2010 cerca de 4 %. Mais uma vez estes resultados são previsíveis, porque a área agrícola diminui ao longo do tempo. Será interessante fazer a avaliação da manta morta, ou tentar avaliar o tipo de agricultura em cada área agrícola, uma vez que a quantidade de carbono presente depende da espécie e também do tipo de lavra que os agricultores utilizam.

Área da pedreira, abrangida no estudo, é de aproximadamente 4,77 hectares, sendo a estimativa do armazenamento do carbono da ordem de grandeza dos 600 t nessa área, o que é um valor com alguma representatividade, este valor provem de se assumir que o valor dos *reservatórios* de carbono é igual ao da classe matos, como referido anteriormente, é uma simplificação devido ao facto do local se encontrar em recuperação e observando as imagens de satélite de 2010, é possível constatar que a vegetação se aproxima dos matos rasos. Assumir este valor é possivelmente sobrestimar o valor de carbono armazenado na pedreira.

No entanto, sublinha-se o facto de que em **todas** as classes o valor de carbono foi subvalorizado devido ao facto de não se ter considerado o carbono da manta morta.

Quanto ao valor total do carbono armazenado aumentou ao longo do tempo, o que é expectável uma vez que se verifica que a área de floresta aumentou. Aproximadamente 1,4 % da área de estudo foi convertida de zona agrícola para matos, e esta conversão de uso também aumentou o carbono armazenado, uma vez que estes últimos apresentam um valor maior de armazenamento de carbono, seria portanto previsível que o carbono aumentasse. De um modo geral, apesar de existirem

conversões de ocupação de solo que influenciariam negativamente a capacidade de armazenamento de carbono da área de estudo, verifica-se que houve mais conversões (maior percentagem de área convertida) que realmente influenciaram positivamente o armazenamento do carbono.

Ao nível da média do carbono total sequestrado anualmente a diferença entre os primeiros 11 anos e os 32 seguintes não é significativa, uma vez que os resultados são apenas ordens de grandeza devido aos erros associados. Ou seja este valor encontra-se na ordem dos 112 a 115 t C ano⁻¹.

Tendo em conta o período temporal entre os anos de estudo, entre 1967 e 1978 11 anos e 32 anos entre 1978 e 2010, considera-se relevante o estudo dos incêndios, uma vez que estes são dos grandes causadores de alterações da ocupação do solo e relativamente ao serviço dos ecossistemas em estudo libertam grandes quantidades de CO₂ armazenados na vegetação. Assim, de acordo com os dados do ICNF (2014), constata-se que de no período de 2006 a 2010 não houve incêndios dentro da área de estudo, no entanto houve pequenos incêndios dentro do PNA. Os incêndios que abrangem a área estão apresentados na figura 5.1. Em 2005 verifica-se um incêndio de médias dimensões, no entanto, relativamente à área de estudo, é praticamente insignificante, em 2004 há um incendio de grandes dimensões, no ano de 2001 também se constata um de pequenas dimensões e em 1991 pode-se observar um outro de maiores dimensões.

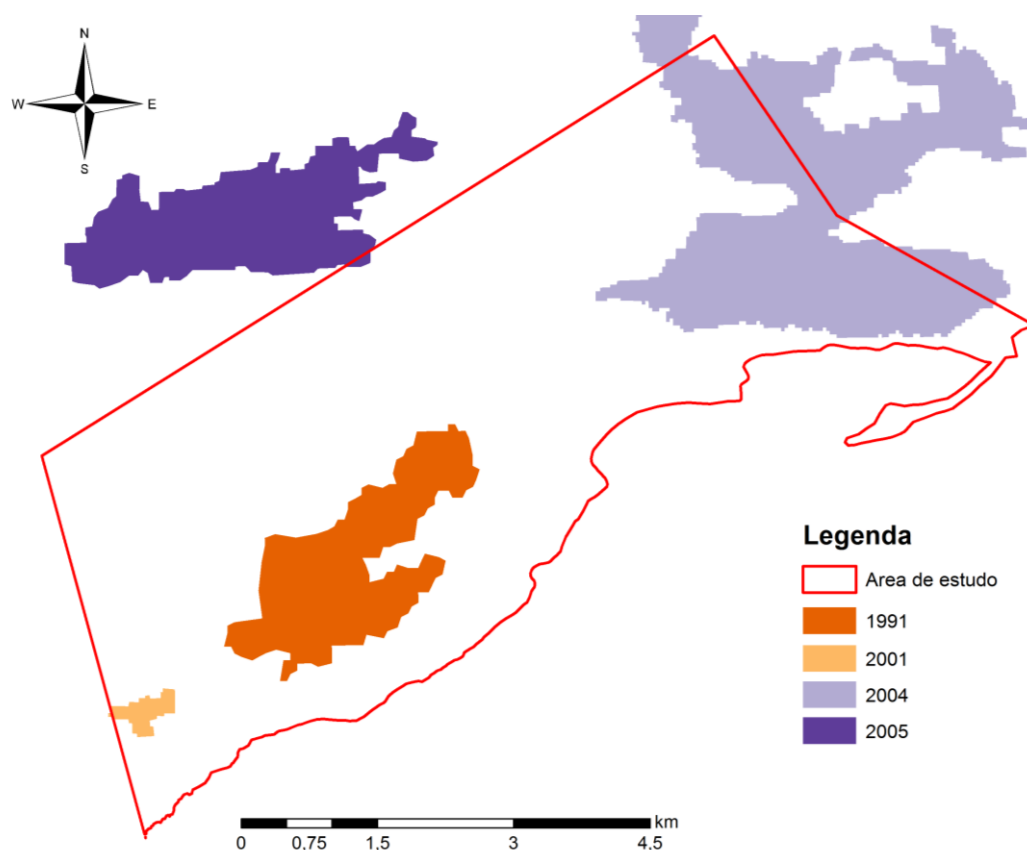


Figura 5.1 - Incêndios na área de estudo (Fonte: ICNF, 2014)

As consequências destes incêndios no ano de estudo de 2010 praticamente não se conseguem observar, seria relevante fazer uma análise numa data intermédia entre o ano de 1978 e 2010, para se conseguir analisar melhor de que forma a área foi prejudicada, por estes incêndios. Surge também

uma questão no que diz respeito à distinção entre os matos rasos e matos altos, o valor de carbono armazenado será diferente nas duas situações uma vez que as componentes biomassa aérea e raízes serão inferiores em matos baixos ou em recuperação.

O valor económico do carbono armazenado foi calculado com o valor de mercado do carbono do CELE, este valor foi calculado com a média do preço das licenças do ano de 2010. Hoje em dia esse valor diminuiu para valores entre os 4 € t⁻¹ e os 5 € t⁻¹ de carbono de acordo com a Bolsa SENDECO₂ (2014), ou seja aproximadamente menos 64% do valor de 2010, estes preços de mercado são muito voláteis e há alguma dificuldade em prever o que será no futuro, devido às condições económicas que se fazem sentir na União Europeia e principalmente em Portugal. No entanto o que verifica é que a Serra da Arrábida poderá contribuir no valor de ordem de grandeza dos milhões de euros, o que é muito interessante, pois essa quantia poderá ser utilizada para programas de melhoria da serra ao nível da prestação de serviços dos ecossistemas.

A utilização dos SIG para o cálculo do armazenamento e sequestro do carbono foi efetuada por diversos autores (e.g. Cruickshank *et al.*, 2000; Secretariat of the CBD, 2008; Nelson *et al.*, 2009; Leh *et al.*, 2013), constituem ferramentas expeditas e de fácil interpretação, tendo como vantagem a visualização dos resultados em formato de mapa. No entanto, apresentam algumas limitações e é necessário desenvolver e interpretar os resultados obtidos.

Os erros da georreferenciação devem-se a várias questões relacionadas com as fotografias aéreas. É possível verificar um erro maior nas fotografias do ano 1967, sendo isto expetável uma vez que as fotografias estavam em formato papel e o papel expande e comprime de acordo com as condições de humidade do ar. As fotografias aéreas também poderão estar saturadas, estando grande parte de muitas fotografias com tom branco, ou seja, com falta de pormenor o que dificulta a fotointerpretação. Outra questão que poderá resultar em maiores erros é devido à orografia da serra, pelo facto das fotografias não estarem ortoretificadas, as fotografias com maior erro, nos vários anos, correspondem exatamente aquelas onde existe um maior declive.

O erro humano também é importante ter em conta, isto é, a escala das fotografias é um problema, a fotointerpretação foi realizada em ecrã com a escala menor possível, de forma a ter a melhor qualidade e precisão, mesmo assim para ter máxima precisão, a escala teria que ser ainda mais baixa, o que tornaria a imagem desfocada e sem qualidade para se perceber, tanto onde se aplica o ponto de georreferenciação, como na vectorização das imagens. Outra questão que se levanta é a qualidade do *hardware* utilizado, pois o sensor ótico do rato poderá não responder exatamente onde o utilizador quer marcar o ponto, podendo assim gerar erros de deslocação dos polígonos sem o utilizador se aperceber.

A avaliação dessa variação é dificultada pelo facto da análise ter sido realizada com fotografias aéreas, a preto e branco, as quais não permitiam fazer uma distinção tão precisa como a que foi feita utilizando as imagens do Bing Maps e ortofotomapas de infravermelhos.

6. Conclusões e propostas futuras

Em Portugal estão identificados no ptMEA os principais fatores que causam as alterações (diretas ou indiretas) aos ecossistemas podendo influenciar também o fornecimento dos serviços que estes prestam, sendo estes **alterações à ocupação do solo**, crescimento económico, **legislação** e atitudes perante o ambiente, incêndios, consumo e poluição de recursos hídricos e turismo (H. Pereira *et al.*, 2009).

As alterações na ocupação do solo contribuem para o fenómeno do aquecimento global e alteração do clima uma vez que alteram os *stocks* de carbono e o seu sequestro, libertando grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera (Schulp *et al.*, 2008; Fahey *et al.*, 2010; Canaveira *et al.*, 2013; Tallis *et al.*, 2013).

A tendência para o aumento da utilização e produção de serviços à custa da destruição do capital natural é uma realidade, sendo a gestão do território e sua utilização essencial para mitigar este problema. A sociedade deverá também estar informada e perceber quais as consequências desta utilização, uma vez que são parte integrante do funcionamento dos ecossistemas (H. Pereira *et al.*, 2009).

As áreas protegidas têm uma grande importância no que diz respeito ao fornecimento de bens e serviços que os humanos beneficiam. Áreas definidas por lei, como o PNA, foram essenciais para a conservação de espécies e regulação do clima.

A Serra da Arrábida, estando inserida no PNA, constitui um local de grande potencial à prestação de serviços. No que diz respeito a este trabalho, presta serviços de regulação do clima, concretamente o armazenamento e sequestro do carbono, uma vez que a serra representa uma grande área com vegetação natural que pode servir como sumidouro dos gases com efeito de estufa. No entanto é fundamental sublinhar o facto de que o armazenamento e sequestro do carbono pela vegetação apesar de ser considerada como uma das opções para diminuir o CO₂ atmosférico (IPCC, 2005) é também uma opção limitada e não é a solução total para o problema das alterações climáticas (Lal, 2004b).

Numa abordagem mais geral, a grande limitação deste trabalho é que só é estudado um serviço dos ecossistemas. Autores como, por exemplo, Nelson & Daily (2010) e Leh *et al.* (2013) consideram relevante o estudo de vários serviços prestados numa determinada área de estudo, pois existem interações entre os próprios serviços e a envolvente desta. No caso da Serra da Arrábida, pode tomar-se o exemplo, de locais como a zona dos Picheleiros que terá grande influência humana, nesta área. A sugestão será fazer, num próximo trabalho, a avaliação da Biodiversidade em conjunto com o armazenamento e sequestro do carbono, por exemplo, usando as ferramentas de modelação do InVEST.

Como este local faz parte da Área Metropolitana de Lisboa, sendo uma zona que se encontra perto de grandes cidades como Setúbal, têm também uma grande afluência ao nível turístico e de recreio,

seria portanto também interessante avaliar estes serviços uma vez que o InVEST também fornece um modelo para estes.

Os problemas associados à utilização de SIG, tanto na georreferenciação como na fotointerpretação, é uma limitação. No entanto verifica-se que as imagens de satélite do Bing Maps são de grande qualidade e pensa-se que no futuro, com a evolução da tecnologia esses problemas terão tendência a diminuir.

Quanto aos resultados do presente trabalho, conclui-se que a classe matos é a classe que mais contribui para o armazenamento e sequestro de carbono, seguidas das florestas e matas, no entanto relativamente a estas últimas era importante avaliar o carbono na manta morta e definir com mais clareza as espécies que as constituem.

Relativamente ao carbono são necessárias estimativas e mapas de distribuição detalhados dos *stocks* de carbono de forma a facilitar e melhorar o desenvolvimento dos estudos e posteriormente construir políticas de gestão de recursos, de acordo com estes (Davies *et al.*, 2011). O estudo ao nível das espécies pode ser benéfico no que diz respeito ao armazenamento e sequestro do carbono (Gratani *et al.*, 2013).

Considera-se então interessante ir à serra e realizar amostragens das espécies, com o objetivo de construir uma lista das espécies e quantidades de carbono que estas armazenam, uma vez que não existe uma estimativa concreta dos *stocks* de carbono nos quatro *reservatórios*, para as espécies portuguesas e como foi indicado anteriormente a Arrábida apresenta características botânicas únicas que se devem à sua localização, às suas características climáticas e geológicas e à influência humana sobre o local (ICNF, 2014), apresentando endemismos e raridades (ICNB, 2003a), que se outra forma não se conseguiriam estimar.

Uma avaliação pormenorizada da quantidade de carbono presente na manta morta seria também relevante, uma vez que, no presente trabalho, se esta a subestimar o valor total de carbono armazenado e seria importante avaliar o mesmo, de forma mais precisa.

O carbono no solo também varia segundo o tipo de solo (Lal, 2004b), essa avaliação não foi feita neste trabalho e seria também importante fazer, assim como a influência dos incêndios nesta área, uma vez que estes têm um grande contributo para a libertação do CO₂ que se encontra armazenado na vegetação.

Os resultados deste trabalho permitem também ponderar sobre como melhorar a capacidade da área para o sequestro do carbono. Por exemplo, responder ao problema do abandono agrícola, problema que se verifica na área de estudo, este poderá ser uma oportunidade para acompanhar as áreas abandonadas conduzindo à regeneração natural destas, favorecendo a evolução para florestas. Outra sugestão seria a conversão de área de floresta ou pomares de monocultura para zonas com maior diversidade de espécies, promovendo assim a sustentabilidade do local.

A pedreira da Secil é um caso de estudo interessante e deveria ser avaliada ao pormenor, uma vez que está incluída num parque natural e a sua recuperação deve ser monitorizada de forma a perceber quais as alterações ao longo do período de recuperação. A Secil (2011) indica que já foram

recuperados 37 ha da pedreira, no entanto as espécies utilizadas nas primeiras campanhas de recuperação não são especificadas. Deverão ser escrutinadas as espécies aí existentes e fazer uma avaliação da quantidade de carbono armazenado e sequestrado ao longo do tempo.

Estimar um valor económico para os serviços dos ecossistemas é importante uma vez que estes contribuem significativamente para o bem-estar dos seres humanos, estes deveriam ser também utilizados para o estabelecimento de políticas pelos decisores (Boyd & Banzhaf, 2007). A economia ecológica tem vindo a comprovar que o pagamento por serviços como estes deve estar introduzido na medida económica de bem-estar, o produto interno bruto, uma vez que, claramente, estes são os responsáveis pelos benefícios que o ser humano retira da natureza. O valor monetário é também relevante para os decisores uma vez que a economia tem grande influência sobre as decisões.

De sublinhar o facto que o desenvolvimento económico e a conservação da natureza não são rivais, verifica-se precisamente o contrário, ou seja, o investimento em programas de conservação, restauração e uso sustentável dos ecossistemas pode criar grandes benefícios tanto ao nível ecológico, económico e social (de Groot *et al.*, 2010).

Conclui-se que o objetivo desta dissertação de mestrado foi cumprido, tendo-se identificado e quantificado o serviço do ecossistema armazenamento e sequestro do carbono com recurso ao programa ArcGIS criando um SIG e associando o conjunto de ferramentas de modelação do InVEST. Realizou-se a fotointerpretação de fotografias aéreas fornecidas pelo PNA, o trabalho de campo que validou a vectorização realizada, o cálculo do carbono armazenado e sequestrado ao longo dos três anos de estudo, utilizando o InVEST, e ainda se definiu um valor económico para este serviço, utilizando o preço de mercado do CELE. De referir que a metodologia aplicada neste trabalho poderá também ser utilizada a outros mapas como a carta de ocupação do solo ou o CORINE e portanto conseguir obter mais valores ao longo do tempo.

Referências Bibliográficas

- Almagro, M., López, J., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J., & Martínez-Mena, M. (2010). Belowground carbon allocation patterns in a dry Mediterranean ecosystem: A comparison of two models. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(9): 1549–1557.
- Almeida, M. H. T. M. de. (1998). *Tese de mestrado: Dinâmica e estrutura da paisagem da serra da Arrábida (1950-1994)*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia.
- Boix-Fayos, C., de Vente, J., Albaladejo, J., & Martínez-Mena, M. (2009). Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(1-2): 75–85.
- Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3): 616–626.
- Canaveira, P., Maciel, H., Pereira, T. C., Pina, A., & Seabra, T. (2013). *Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2011*. Amadora. Retrieved from http://www.apambiente.pt/_zdata/DPAAC/INERPA/NIR_20130517.pdf
- Chen, N., Li, H., & Wang, L. (2009). A GIS-based approach for mapping direct use value of ecosystem services at a county scale: Management implications. *Ecological Economics*, 68(11): 2768–2776.
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R. S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630): 253–260.
- Cruickshank, M. M., Tomlinson, R. W., & Trew, S. (2000). Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. *Journal of Environmental Management*, 58(4): 269–287.
- Cunha, M. I. F. (2013). *Dissertação de Mestrado - Conceção e Valorização de um Percorso Pedestre no Parque Natural da Arrábida: o caso de estudo das Terras do Risco*. Universidade de Lisboa - Faculdade de Ciências.
- Daily, G. C. (1997). Chapter 1 - Introcuction: what Are ecosystem services? In G. C. Daily (Ed.), *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems* (pp. 1–10). Washinton DC: Island Press.
- Daily, G. C., Söderqvist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P., Ehrlich, P. R., Folke, C., Jansson, A., Jansson, B., Kautsky, N., Lubchenco, J., Mäler, K., Simpson, D., Starrett, D., Tilman, D., Levin, S., Maler, K., & Walker, B. (2000). The value of nature and the nature of value. *Science*, 289(5478): 395–396.
- Davies, Z. G., Edmondson, J. L., Heinemeyer, A., Leake, J. R., & Gaston, K. J. (2011). Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(5): 1125–1134.
- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3): 260–272.
- Díaz-Pinés, E., Rubio, A., Van Miegroet, H., Montes, F., & Benito, M. (2011). Does tree species composition control soil organic carbon reservatórios in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecology and Management*, 262(10): 1895–1904. doi:10.1016/j.foreco.2011.02.004

- Eaton, J. M., McGoff, N. M., Byrne, K. a., Leahy, P., & Kiely, G. (2008). Land cover change and soil organic carbon stocks in the Republic of Ireland 1851–2000. *Climatic Change*, 91(3-4): 317–334.
- Fahey, T. J., Woodbury, P. B., Battles, J. J., Goodale, C. L., Hamburg, S. P., Ollinger, S. V, & Woodall, C. W. (2010). Forest carbon storage: ecology, management, and policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(5): 245–252.
- Farber, S., Costanza, R., Childers, D. L., Erickson, J., Gross, K., Grove, M., Hopkinson, C. S., Kahn, J., Pincetl, S., Troy, A., Warren, P., & Wilson, M. (2006). Linking Ecology and Economics for Ecosystem Management. *BioScience*, 56(2): 117–129.
- Feng, H. (2005). The dynamics of carbon sequestration and alternative carbon accounting, with an application to the upper Mississippi River Basin. *Ecological Economics*, 54(1): 23–35.
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3): 643–653.
- Fonseca, F., Figueiredo, T., & Bompastor Ramos, M. a. (2012). Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agroforestry Systems*, 86(3): 463–475.
- Gratani, L., Varone, L., Ricotta, C., & Catoni, R. (2013). Mediterranean shrublands carbon sequestration: environmental and economic benefits. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18: 1167–1182.
- Hernández-Morcillo, M., Plieninger, T., & Bieling, C. (2013). An empirical review of cultural ecosystem service indicators. *Ecological Indicators*, 29: 434–444.
- ICNB. (2003a). *Plano de ordenamento do Parque Natural da Arrábida - Fase 1: relatório síntese de caracterização*. Setúbal.
- ICNB. (2003b). *Plano de ordenamento do Parque Natural da Arrábida - Relatório*. Setúbal. Retrieved from <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ordgest/poap/popnar/resource/ordenamento/relatorio>
- ICNF. (2014). ICNF. Retrieved February 28, 2014, from <http://www.icnf.pt/portal>
- IPCC. (2005). *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. Retrieved from https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf
- Kirby, K. R., & Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246(2-3): 208–221.
- Lal, R. (2004a). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science (New York, N.Y.)*, 304(5677): 1623–1627.
- Lal, R. (2004b). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2): 1–22.
- Lautenbach, S., Kugel, C., Lausch, A., & Seppelt, R. (2011). Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 11(2): 676–687.
- Leh, M. D. K., Matlock, M. D., Cummings, E. C., & Nalley, L. L. (2013). Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 165: 6–18.

- Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehlreter, K., Equihua, M., & Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9): 1856–1863.
- MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Metzger, M. J., Rounsevell, M. D. A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R., & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1): 69–85.
- Muñoz-Rojas, M., De la Rosa, D., Zavala, L. M., Jordán, A., & Anaya-Romero, M. (2011). Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956-2007). *The Science of the Total Environment*, 409(14): 2796–806.
- Nelson, E., & Daily, G. C. (2010). Modelling ecosystem services in terrestrial systems. *F1000 Biology Reports*, 2(53): 6 pp. doi:10.3410/B2-53
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, Dr., Chan, K. M. A., Daily, G. C., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T. H., & Shaw, Mr. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1): 4–11.
- Nelson, E., Polasky, S., Lewis, D. J., Plantinga, A. J., Lonsdorf, E., White, D., Bael, D., & Lawler, J. J. (2008). Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(28): 9471–9476.
- Nicholson, E., Mace, G. M., Armsworth, P. R., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T., Ewers, R. M., Fa, J. E., Gardner, T. a., Gibbons, J., Grenyer, R., Metcalfe, R., Mourato, S., Muûls, M., Osborn, D., Reuman, D. C., Watson, C., & Milner-Gulland, E. J. (2009). Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology*, 1139–1144.
- Nieto, O. M., Castro, J., & Fernández-Ondoño, E. (2012). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. *Plant and Soil*, 365(1-2): 321–335.
- Nunes, L., Lopes, D., Castro Rego, F., & Gower, S. T. (2013). Aboveground biomass and net primary production of pine, oak and mixed pine–oak forests on the Vila Real district, Portugal. *Forest Ecology and Management*, 305: 38–47.
- Padilla, F. M., Vidal, B., Sánchez, J., & Pugnaire, F. I. (2010). Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: implications for land management. *Journal of Environmental Management*, 91(12): 2688–95.
- Peccol, E., Bird, C. a., & Brewer, T. R. (1996). GIS as a tool for assessing the influence of countryside designations and planning policies on landscape change. *Journal of Environmental Management*, 47(4): 355–367.
- Pedro, J. G. (1998). *Vegetação e Flora da Arrábida. Coleção Natureza e paisagem*. 10, 2ª edição, ICN, Lisboa.
- Pereira, H., Domingos, T., Marta-pedroso, C., Proença, V., Rodrigues, P., Ferreira, M., Teixeira, R., Mota, R., & Nogal, A. (2009). Capítulo 20: Uma avaliação dos serviços dos ecossistemas em Portugal. In *Ecossistemas e Bem-Estar Humano em Portugal* (pp. 687–716). Lisboa. Retrieved from <http://ecossistemas.org/pt/relatorios.htm>

- Pereira, T., Seabra, T., Maciel, H., & Torres, P. (2010). *Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2008*. Amadora.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., & Bieling, C. (2013). Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 33: 118–129.
- Reyers, B., Polasky, S., Tallis, H., Mooney, H. A., & Larigauderie, A. (2012). Finding common ground for biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 62(5): 503–507.
- Rodríguez-Murillo, J. C. (2001). Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biol Fertil Soils* (2001), 33: 53–61.
- Ruiz-Peinado, R., Moreno, G., Juarez, E., Montero, G., & Roig, S. (2013). The contribution of two common shrub species to aboveground and belowground carbon stock in Iberian dehesas. *Journal of Arid Environments*, 91: 22–30.
- Schulp, C. J. E., Nabuurs, G.-J., & Verburg, P. H. (2008). Future carbon sequestration in Europe—Effects of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 127(3-4): 251–264.
- Secil. (2011). *Declaração Ambiental: Fabrica Secil - Outão*. Setúbal. Retrieved from <http://www.secil.pt/pdf/outaoDA2011.pdf>
- Secretariat of the CBD. (2008). *Protected areas in today's World: Their values and benefits for the welfare of the Planet*. Montreal, Technical Series no. 36, i-vii + 96 pages.
- Simões, M. P., Madeira, M., & Gazarini, L. (2012). Biomass and nutrient dynamics in Mediterranean seasonal dimorphic shrubs: Strategies to face environmental constraints. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 146(3): 500–510.
- Stern, N. (2007). Executive Summary. In *The economics of climate change: The Stern Review*. Cambridge and New York: Cambridge University Press. Retrieved from http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20130129110402/http://www.hm-treasury.gov.uk/d/Executive_Summary.pdf
- Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., ... Lacayo, M. (2013). *InVEST 2.5.6 User's guide. The Natural Capital Project*. Stanford. Retrieved from http://ncp-dev.stanford.edu/~dataportal/invest-releases/documentation/current_release/
- Troy, A., & Wilson, M. a. (2006). Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*, 60(2): 435–449.
- Vogt, K. A., Vogt, D. J., Palmiotto, P. A., Boon, P., Jennifer, O., & Asbjorsen, H. (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil*, 187: 159–219.
- Wainger, L. a., King, D. M., Mack, R. N., Price, E. W., & Maslin, T. (2010). Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions? *Ecological Economics*, 69(5): 978–987.
- Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3-4): 235–246.

Legislação Consultada

Lei n.º9/70 de 19 de junho

Decreto n.º 355/71 de 16 de agosto

Decreto-Lei n.º 622/76 de 28 de julho

Decreto-Lei n.º 613/76 de 27 de julho

Decreto-Lei n.º 11/97 de 14 de janeiro

Decreto-Lei nº 384-B/99, de 23 de setembro

Decreto Regulamentar n.º 23/98 de 14 de outubro

Decreto Regulamentar n.º 11/2003 de 8 de maio

Decisão do Conselho nº 94/69/CE de 15 de dezembro de 1993

Decisão do Conselho nº 2002/358/CE de 25 de abril de 2002

Resolução do Conselho de Ministros n.º 142/97 de 28 de agosto

Resolução do Conselho de Ministros n.º 85/98, de 10 de julho

Resolução do Conselho de Ministros n.º 141/2005, de 23 de agosto

Sites consultados:

Em 13 fevereiro 2014

Parques Naturais: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/p-nat/pnar>

Convenção sobre a Diversidade Biológica: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/cbd>

Em 2 março 2014

Parque Natural da Arrábida: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/nac/parq-natur>

Em 10 de abril de 2014

SENDECO₂ – a bolsa de CO₂: <http://www.sendeco2.com/index-pt.asp>

Incêndios Florestais: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc>

Anexos

I. Erros Relativos às fotografias Aéreas

Tabela AI.1 - Erros relativos às fotografias aéreas do ano 1967

Fiada	Número	Erro (m)
8	89073	5,9
8	89074	6,8
8	89075	6,7
9	89078	20,1
9	89079	22,1
9	89080	35,1
9	89081	6,8
9	89082	4,5
9	89083	6,0
9	89084	5,1
10	89125	4,9
10	89126	5,6
10	89127	17,3
10	89128	7,9
10	89129	7,4
11	89131	7,9
11	89132	26,5
Média		11,6
Máximo		35,1
Mínimo		4,5

Tabela AI.2 - Erros relativos às fotografias aéreas do ano 1978

Fiada	Número	Erro (m)
28	6260	6,4
28	6261	6,3
28	6262	6,9
28	6263	7,7
29	2879	4,3
29	2880	3,9
29	2882	7,7
29	2883	7,6
29	2884	9,8
29	2885	5,7
29	2886	8,5
29	2887	5,7
29	2888	6,6
29	2889	25,9
29	2890	4,6
30	2846	3,4
30	2845	3,0
30	2844	3,0
30	2843	6,3
30	2842	10,7
30	2841	8,9
30	2840	4,7
Média		7,2
Máximo		25,9
Mínimo		3,0

II. Carbono modelado por classe

Tabela All.3 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 1967

Classe	Carbono armazenado (t pixel ⁻¹)	Área Ocupada (ha)	Carbono armazenado (t)	% Área	% Distribuição de carbono total
Outras	0	103	0	4,5%	0,0%
Pomar	0,0136	39	1332	1,7%	0,5%
Zona agrícola	0,0502	165	20656	7,2%	7,2%
Matos/Pedreira	0,0506	1865	235967	81,7%	82,0%
Zona agrícola complexa/Canas	0,0606	13	1912	0,6%	0,7%
Herbaceas	0,065	3	547	0,1%	0,2%
Jardins	0,0665	2	309	0,1%	0,1%
Matas	0,117	75	22034	3,3%	7,7%
Floresta	0,1191	17	5057	0,7%	1,8%

Tabela All.4 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 1978

Classe	Carbono armazenado (t pixel ⁻¹)	Área Ocupada (ha)	Carbono armazenado (t)	% Área	% Distribuição de carbono total
Outras	0	108	0	4,7%	0,0%
Pomar	0,0136	36	1218	1,6%	0,4%
Zona agrícola	0,0502	155	19511	6,8%	6,8%
Matos/Pedreira	0,0506	1863	235657	81,6%	81,5%
Zona agrícola complexa/Canas	0,0606	13	1901	0,5%	0,7%
Herbaceas	0,065	4	623	0,2%	0,2%
Jardins	0,0665	3	478	0,1%	0,2%
Matas	0,117	75	22034	3,3%	7,6%
Floresta	0,1191	26	7629	1,1%	2,6%

Tabela All.5 - Quantidade de carbono armazenado por classe no ano de 2010

Classe	Carbono armazenado (t pixel ⁻¹)	Área Ocupada (ha)	Carbono armazenado (t)	% Área	% Distribuição de carbono total
Outras	0,0000	118	0	5,2%	0,0%
Pomar	0,0136	33	1125	1,5%	0,4%
Zona agrícola	0,0502	101	12637	4,4%	4,3%
Matos/Pedreira	0,0506	1870	236498	81,9%	80,8%
Zona agrícola complexa/Canas	0,0606	22	3275	0,9%	1,1%
Herbaceas	0,0650	9	1487	0,4%	0,5%
Jardins	0,0665	5	775	0,2%	0,3%
Matas	0,1170	75	22034	3,3%	7,5%
Floresta	0,1191	50	14921	2,2%	5,1%

III. Histórico de preços de CO₂ para o ano 2010

Tabela AIII.6 - Histórico de preços de CO₂ do ano 2010, expressos em € t⁻¹ segundo SENDECO₂ (2014))

Data fecho	EUA	Data fecho	EUA	Data fecho	EUA
04-01-2010	12,8	02-03-2010	13,1	30-04-2010	15,75
05-01-2010	12,45	03-03-2010	13,3	03-05-2010	16,25
06-01-2010	12,17	04-03-2010	12,99	04-05-2010	15,65
07-01-2010	12,43	05-03-2010	13,1	05-05-2010	15,8
08-01-2010	12,75	08-03-2010	12,95	06-05-2010	15,99
11-01-2010	12,95	09-03-2010	12,98	07-05-2010	15,42
12-01-2010	12,7	10-03-2010	13,05	10-05-2010	15,14
13-01-2010	12,94	11-03-2010	12,86	11-05-2010	15,49
14-01-2010	13,5	12-03-2010	12,75	12-05-2010	15,49
15-01-2010	13,12	15-03-2010	12,88	13-05-2010	15,6
18-01-2010	13,4	16-03-2010	12,85	14-05-2010	15,6
19-01-2010	13,58	17-03-2010	12,85	17-05-2010	14,92
20-01-2010	13,13	18-03-2010	12,92	18-05-2010	15,02
21-01-2010	13,16	19-03-2010	12,96	19-05-2010	14,65
22-01-2010	12,92	22-03-2010	12,94	20-05-2010	14,45
25-01-2010	13,21	23-03-2010	12,8	21-05-2010	14,55
26-01-2010	13,42	24-03-2010	12,62	24-05-2010	15,15
27-01-2010	13,28	25-03-2010	12,48	25-05-2010	15,05
28-01-2010	12,94	26-03-2010	12,69	26-05-2010	15,47
29-01-2010	12,7	29-03-2010	12,58	27-05-2010	15,3
01-02-2010	12,55	30-03-2010	12,66	28-05-2010	14,93
02-02-2010	12,44	31-03-2010	12,46	31-05-2010	14,9
03-02-2010	12,6	01-04-2010	12,89	01-06-2010	14,95
04-02-2010	13,05	06-04-2010	13,27	02-06-2010	15,05
05-02-2010	13,08	07-04-2010	13,33	04-06-2010	15,15
08-02-2010	13,6	08-04-2010	13,37	07-06-2010	14,95
09-02-2010	13,37	09-04-2010	13,48	08-06-2010	15,46
10-02-2010	13,06	12-04-2010	13,47	09-06-2010	15,6
11-02-2010	13,02	13-04-2010	13,48	10-06-2010	15,32
12-02-2010	12,81	14-04-2010	14,05	11-06-2010	15,45
15-02-2010	12,98	15-04-2010	13,96	14-06-2010	15,75
16-02-2010	13,15	16-04-2010	14,23	15-06-2010	15,65
17-02-2010	12,8	19-04-2010	14,45	16-06-2010	15,45
18-02-2010	12,8	20-04-2010	14,55	17-06-2010	15,55
19-02-2010	12,42	21-04-2010	14,53	18-06-2010	15,57
22-02-2010	12,6	22-04-2010	14,7	21-06-2010	15,68
23-02-2010	12,65	23-04-2010	14,79	22-06-2010	15,22
24-02-2010	12,82	26-04-2010	15,39	23-06-2010	15,15
25-02-2010	12,76	27-04-2010	15,06	24-06-2010	15,1
26-02-2010	12,79	28-04-2010	14,82	25-06-2010	15,18
01-03-2010	13,15	29-04-2010	15,12	28-06-2010	15,32

Data fecho	EUA	Data fecho	EUA	Data fecho	EUA
29-06-2010	15,03	31-08-2010	15,11	03-11-2010	14,68
30-06-2010	15,07	01-09-2010	15,25	04-11-2010	14,4
01-07-2010	15,03	02-09-2010	15,65	05-11-2010	14,51
02-07-2010	15,1	03-09-2010	15,7	08-11-2010	14,21
05-07-2010	15,22	06-09-2010	15,6	09-11-2010	14,27
06-07-2010	15,1	07-09-2010	15,62	10-11-2010	14,5
07-07-2010	14,76	08-09-2010	15,55	11-11-2010	14,81
08-07-2010	14,29	09-09-2010	15,42	12-11-2010	14,82
09-07-2010	14,56	10-09-2010	15,15	15-11-2010	15,06
12-07-2010	14	13-09-2010	15,2	16-11-2010	14,65
13-07-2010	13,78	14-09-2010	15,17	17-11-2010	14,84
14-07-2010	13,88	15-09-2010	15,36	18-11-2010	14,9
15-07-2010	13,82	16-09-2010	15,18	19-11-2010	15
16-07-2010	14,15	17-09-2010	15,2	22-11-2010	15,04
19-07-2010	14,45	20-09-2010	14,99	23-11-2010	14,98
20-07-2010	14,12	21-09-2010	14,88	24-11-2010	15,09
21-07-2010	13,8	22-09-2010	14,97	25-11-2010	15,08
22-07-2010	14,15	23-09-2010	14,78	26-11-2010	15,06
23-07-2010	13,92	24-09-2010	15,2	29-11-2010	14,92
26-07-2010	13,5	27-09-2010	15,3	30-11-2010	14,57
27-07-2010	13,58	28-09-2010	15,55	01-12-2010	14,69
28-07-2010	13,61	29-09-2010	15,55	02-12-2010	14,72
29-07-2010	13,9	30-09-2010	15,32	03-12-2010	14,77
30-07-2010	14,03	01-10-2010	15,25	07-12-2010	14,75
02-08-2010	14,3	04-10-2010	15,22	09-12-2010	14,47
03-08-2010	14,35	05-10-2010	15,37	10-12-2010	14,53
04-08-2010	14,28	06-10-2010	15,42	13-12-2010	14,5
05-08-2010	14,25	07-10-2010	15,37	14-12-2010	14,43
06-08-2010	14,15	08-10-2010	15,5	15-12-2010	14,29
09-08-2010	14,44	11-10-2010	15,73	16-12-2010	14,2
10-08-2010	14,4	12-10-2010	15,63	17-12-2010	13,95
11-08-2010	14,39	13-10-2010	15,65	20-12-2010	13,83
12-08-2010	14,32	14-10-2010	15,47	21-12-2010	13,86
13-08-2010	14,4	15-10-2010	15,37	22-12-2010	13,91
16-08-2010	14,33	18-10-2010	15,4	23-12-2010	13,67
17-08-2010	14,38	19-10-2010	15,01	24-12-2010	13,75
18-08-2010	14,28	20-10-2010	15,17	27-12-2010	13,7
19-08-2010	14,72	21-10-2010	14,85	28-12-2010	13,76
20-08-2010	14,94	22-10-2010	14,9	29-12-2010	13,8
23-08-2010	14,68	25-10-2010	15,06	30-12-2010	13,72
24-08-2010	14,77	26-10-2010	15	31-12-2010	13,9
25-08-2010	15,28	27-10-2010	14,99	Média ano 2010	14,32
26-08-2010	15,15	28-10-2010	14,9		
27-08-2010	15,18	29-10-2010	14,6		
30-08-2010	15,28	02-11-2010	14,66		

